Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

освітнього ступеня "Бакалавр" на тему:

Удосконалення механізації заготівлі сіна з модернізацією рулонного прес-підбирача

Виконав: студент 4-ого курсу, групи АІ-4-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Махнюк Владислав Олександрович

Керівник: _____ Кобець Олександр Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин
Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ТСГМ
(назва кафедри)
доцент
(вчене звання)
_____ Теслюк Г В.
(підпис) (прізвище ініціали)
«____» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Махнюк Владиславу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення механізації заготівлі сіна з модернизацією рулонного преспідбирача
керівник роботи Кобець Олександр Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від
« 5 » травня 2026 року № 912 .
2. Строк подання студентом роботи 8.06.2026 р.
3. Вихідні дані до проєкту Огляд стану питання та існуючих засобів механізації заготівлі сіна. Патентний пошук, аналіз літературних джерел та останніх досліджень з обраної тематики.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз стану механізації заготівлі сіна. 2. Аналіз сучасних технічних засобів заготівлі сіна. 3. Обгрунтування схеми вдосконалення та параметрів рулонного преспідбирача. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка

впровадження вдосконаленого преспідбирача. Висновки та пропозиції. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Патентний огляд. 2. Функціональна схема вдосконаленого преспідбирача. 3. Складальне креслення вдосконаленого вузла. 4. Деталювання. 5. Економічні показники .

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
нормоконтроль	Лепеть Є.І., асистент		

7. Дата видачі завдання: 5.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	5.05-10.05.26 р	
2	Технологічний	11.05-16.05.26 р	
3	Конструктивний	17.05-21.05.26 р	
4	Охорона праці	22.05-25.05.26 р	
5	Економічний	26.05-30.05.26 р	
6	Графічна частина	1.06-8.06.26 р	

Студент _____ Махнюк В.О.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Кобець О.М.

(підпис) (прізвище та ініціали)

№ п/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Номер	Примітка
			Текстові документи			
	А4	52ДП.22163.000 ПЗ	Пояснювальна записка	77		
			Графічні матеріали			
1	А1	52ДП.22163.000 ПА	Принципова схема роботи	1	1	
2	А1	52ДП.22163.000 СК	Принципова схема роботи		2	
			модернізованого агрегату	1		
3	А3	52ДП.22163.010 СК	Рама натяжна	1	3	
4	А4	52ДП.22163.011	Балка	1	4	
5	А4	52ДП.22163.012	Накладка	1	5	
6	А4	52ДП.22163.013	Накладка	1	6	
7	А4	52ДП.22163.015	Розкос	1	7	
8	А4	52ДП.22163.016	Втулка	1	8	
9	А1	52ДП.22163.000 .ЕК	Економічне обґрунтування	1	9	

					52ДП.22163.000 ПЗ		
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розробив		Махнюк			Удосконалення механізації заготівлі сіна з модернізацією рулонного прес-підбирача	Літ.	Аркуш 4 / Аркушів 77
Перевірив		Кобець					
						ДДАЕУ АІ-4-22	
Н. контр.		Лепеть					
Затверд.		Теслюк					

АНОТАЦІЯ

Махнюк В.О. Удосконалення механізації заготівлі сіна з модернізацією рулонного прес-підбирача / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

Метою проєкту є підвищення ефективності та надійності процесу заготівлі сіна шляхом модернізації конструкції натяжної рами прес-підбирача ПРП-1.6. Запропоноване рішення спрямоване на стабілізацію натягу пресувальних пасів, ліквідацію їх перекосів та забезпечення рівномірної щільності формування рулонів.

У роботі проведено аналіз сучасного стану кормовиробництва в Україні, розглянуто техніко-технологічні вимоги до заготівлі сіна та соломи рулонними прес-підбирачами. Виявлено основні недоліки базової конструкції ПРП-1.6, зокрема недостатню жорсткість натяжної рами, що призводить до розтягування та передчасного зносу пасів.

Обґрунтовано вибір конструкційних параметрів модернізованої просторової натяжної рами, виготовленої з профільної труби. Проведено розрахунок надійності вузла, виконано перевірочні розрахунки елементів конструкції на міцність та жорсткість. Розроблено заходи з охорони праці та техніки безпеки під час експлуатації та обслуговування агрегату.

У техніко-економічній частині визначено економічну ефективність проєкту. Встановлено, що впровадження жорсткої натяжної рами дозволяє ліквідувати технологічні простої в пікові періоди заготівлі та значно знизити витрати на ремонт пасового контуру. Розрахований річний економічний ефект становить 5550 грн, а термін окупності проєкту — 1,09 року, що підтверджує доцільність модернізації навіть для малих фермерських господарств.

Ключові слова: прес-підбирач, ПРП-1.6, натяжна рама, пас, модернізація, надійність, щільність пресування, технологічний простій.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....5

ВСТУП.....9

1 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ЗАГОТІВЛІ ТРАВ'ЯНИХ КОРМІВ 11

1.1 Аналіз існуючих технологій і способів заготівлі.....11

1.2 Агротехнічні вимоги до виконання процесу заготівлі кормів 19

1.3 Фізичні, біологічні і механіко-технологічні властивості матеріалу 21

Висновки.....23

2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ РУЛОННИХ ПРЕС-ПІДБИРАЧІВ 25

2.1 Еволюція та сучасний стан конструкцій рулонних прес-підбирачів.....25

2.1.1 Етап становлення та механічного вдосконалення (2000–2010 рр.) 25

2.1.2 Інтелектуалізація та стандартизація (2010–2020 рр.) 30

2.1.3 Сучасні тенденції: автономність та precision farming (2020–сьогодення) 32

2.2 Аналіз розвитку конструкцій на ринку рулонних прес-підбирачів в Україні34

Висновки.....35

3 ПАТЕНТНИЙ АНАЛІЗ.....37

Висновки.....42

4 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ РУЛОНУ В КАМЕРІ ПРЕСУВАННЯ ТА ВИЗНАЧИТИ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЙОГО ЩИЛЬНІСТЬ 44

4.1 Особливості формування рулону в прес-підбирачах з камерою змінного об’єму 44

4.2 Математичне моделювання процесу ущільнення 44

4.3 Фактори, що впливають на щільність рулону 46

4.4 Аналітична модель 47

Висновки 48

5 МОДЕРНІЗАЦІЯ РУЛОННОГО ПРЕС-ПІДБИРАЧА ПРП-1.6 50

5.1 Обґрунтування актуальності модернізації пресувального механізму ПРП-1.6 50

5.2 Конструктивні особливості та вибір матеріалу модернізованої рами 51

Висновки 57

6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ 59

6.1. Розрахунок експлуатаційного ефекту від підвищення надійності. Зниження витрат на поточні ремонти та технічне обслуговування ΔСрем 60

Висновки 61

7 ОХОРОНА ПРАЦІ 63

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 65

ДОДАТКИ 69

ВСТУП

Сучасний стан агропромислового комплексу України характеризується переходом до високотехнологічних методів господарювання, де ключовим фактором рентабельності стає максимальне збереження енергетичного потенціалу вирощеної продукції. Тваринництво, як одна з провідних галузей сільського господарства, висуває дедалі суворіші вимоги до якості кормової бази. Забезпечення тварин високопротеїновими та вітамінними кормами безпосередньо впливає на продуктивність молочного та м’ясного виробництва, а також на конкурентоспроможність вітчизняної продукції на зовнішніх ринках.

Заготівля сіна, сінажу та соломи традиційними методами супроводжується великими втратами поживних речовин через тривале висушування в полі та механічне обсипання листя. Для зниження ризиків та енергомісткості процесу стратегічно важливим є впровадження прогресивної технології рулонного збирання кормів..

На сучасному етапі рулонні прес-підбирачі є базовими машинами для збирання кормів. Вони дозволяють не лише підвищити продуктивність праці, а й докорінно змінити логістику кормовиробництва. Пресування маси у рулони забезпечує компактність зберігання, зручність при транспортуванні та можливість автоматизації процесу роздачі кормів на фермах.

Однак, експлуатація парку наявних прес-підбирачів виявляє низку проблем, що потребують науково-технічного вирішення. До них належать:

- недостатня щільність пресування при роботі з матеріалами різної вологості;
- високий рівень втрат кормової маси під час підбирання та формування рулону;

- низька надійність окремих вузлів при роботі у важких польових умовах;

Особливої ваги набуває питання адаптації конструкції прес-підбирачів до вимог енергозбереження та екологічної безпеки. Зниження питомих витрат палива на одиницю заготованої продукції є критичним показником в умовах постійного зростання вартості енергоносіїв.

Об’єкт дослідження – процес механізованої заготівлі об’ємних кормів з використанням рулонних прес-підбирачів у складі тракторних агрегатів.

Предмет дослідження – конструктивні параметри та технологічні режими роботи рулонного прес-підбирача ПРП-1.6, що впливають на якість формування рулону, енергоємність процесу та рівень втрат кормової маси.

Мета дипломного проєкту – підвищення ефективності заготівлі кормів шляхом обґрунтування та вдосконалення параметрів робочих органів рулонного прес-підбирача, що дозволить знизити втрати маси та підвищити експлуатаційні показники машини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз технологічних процесів та обгрунтування вимог до заготівлі трав’яних кормів.
2. Провести аналіз сучасних тенденцій розвитку конструкцій рулонних прес-підбирачів в Україні та за кордоном.
3. Виконати аналітичне дослідження процесу формування рулону в камері пресування та визначити фактори, що впливають на його щільність.
4. Запропонувати конструктивні вдосконалення вузлів прес-підбирача.
5. Розрахувати основні параметри модернізованого робочого органу та оцінити його техніко-економічну ефективність.
6. Розробити заходи з охорони праці та екологічної безпеки під час експлуатації даної техніки.

1 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ЗАГОТІВЛІ ТРАВ'ЯНИХ КОРМІВ

1.1 Аналіз існуючих технологій і способів заготівлі

Основними методами консервування зеленої маси є її зневоднення (висушування) або зберігання у вологому стані в анаеробному кислому середовищі. Перший спосіб застосовують для виробництва сіна та штучно висушених кормів (сіно), другий - для силосування.

Сіно - це корм із висушених стебел та листя трав'янистих рослин, скошених до настання їхньої біологічної зрілості. Воно належить до критично важливих об'ємистих кормів завдяки своїй фізіологічній ролі в процесах травлення жуйних тварин:

- Джерело клітковини - забезпечує нормальне протікання метаболізму за рахунок вмісту грубоволокнистих структур;
- Вітамінно-мінеральний баланс - це єдиний вид об'ємного корму, що містить вітамін D, який регулює мінеральний обмін;
- Дієтичні властивості - високий вміст цукрів у якісній сировині робить цей корм незамінним у раціонах молодняку великої рогатої худоби та сухостійних корів.

Залежно від технології збирання, продукт може зберігатися в розсипному, подрібненому або пресованому (у рулонах чи тюках) вигляді.



Рисунок 1.1. – Способи зберігання сіна: а) розсипний; б) подрібнений; в) пресований (рулонний); г) пресований

Оптимальні терміни скошування трав для максимального збереження поживності:

- Бобові трави - від фази бутонізації до початку масового цвітіння;
- Злакові культури - до моменту масового викидання волотей (колосіння);
- Травосумішки - орієнтуються на фазу розвитку переважаючої культури;
- Природні сінокоси: від початку колосіння до перших ознак цвітіння.

Ефективність заготівлі сіна залежить від суворого дотримання термінів скошування та технологічних режимів сушіння. Передчасне збирання (особливо бобових культур) призводить до отримання нестабільної маси, схильної до самозволоження та псування. Запізнення зі збиранням спричиняє втрату найбільш цінних частин рослини - листя, бутонів та суцвіть, у яких вміст білка та мінералів удвічі вищий, а каротину - у 10–15 разів більше, ніж у стеблах.

Важливими є й оптимальні режими скошування та висота зрізу. Для максимального збереження каротину (у 5–6 разів більше порівняно з денним укосом) косовицю доцільно проводити у вранішні та вечірні години.

Регламентована висота зрізу рослин:

- Природні угіддя (низький травостій): 3–4 см;
- Сіяні трави: 5–6 см;
- Багаторічні трави 1-го року та насіннєві посіви: 8–9 см;
- Отава останнього укосу: 6–7 см.

Після скошування сіно потрібно висушити, зазвичай це проводять в польових умовах. Процес доведення маси до кондиційної вологості поділяється на кілька етапів:

- Пров’ялювання в прокосах: За сприятливих погодних умов траву витримують до досягнення вологості 50–55%.
- Ворушіння прокосів розпочинають через 3–6 годин після скошування і припиняють при вологості 40–45%.

Далі скошену траву формують у валки:

- На суходільних луках - через 5–6 годин після укосу.
- На заплавних та низовинних ділянках - через 10–12 годин. У валках маса підсихає 1–2 дні до вологості 25–30%.

Останній пункт перед зберіганням - досушування в копицях. У копицях сіно доводиться до вологості 16–17% протягом 3–5 днів, після чого закладається на постійне зберігання.



а) б)

Рисунок 1.2. – Формування валків та прив’ялювання сіна у прокосах.

Особливості заготівлі за несприятливих умов:

- Спекотна погода: Необхідно уникати повного висихання трави в прокосах, оскільки це призводить до значних втрат листя (обсипання) під час згрібання. Основне досушування має відбуватися у валках.
- Дощова погода та сирі сінокоси: Використовують спеціальні пристосування для активного вентилювання - вішала (у формі шатрів або пірамід), що запобігає контакту маси з вологим ґрунтом та покращує циркуляцію повітря.

Розрізняють декілька способів зберігання сіна, вибір яких залежить технічної оснащеності господарства, обсягів заготівлі та цільового призначення корму.

Зберігання у пресованому вигляді - найбільш прогресивний метод, який лежить в основі сучасних механізованих технологій. Формують або в тюки(прямокутна форма), або в рулони.

Формування в тюки.

- Переваги:

  - Найвища щільність завантаження транспортних засобів та складів.

  - Зручність при ручному роздаванні корму та штабелюванні. Можливість точного порційного обліку.

- Особливість - вимагають захисту від опадів (накриття плівкою або зберігання під навісом), оскільки через щільність волога, що потрапила всередину, майже не випаровується.

Формування в рулони.

- Переваги - висока продуктивність заготівлі. Завдяки закрученій структурі зовнішні шари рулону відводять частину вологи. Менші затрати часу на обв'язку порівняно з тюками.
- Особливість: Потребують спеціальних фронтальних навантажувачів для переміщення.
- Недоліки цих способів:

- Високі вимоги до вологості - якщо запресувати масу з вологістю понад 20% без спеціальних консервантів, всередині рулону починається процес самозігрівання та розвиток плісняви, що робить корм токсичним.
- Механічні пошкодження - при надмірному ущільненні (особливо бобових) відбувається значне обсипання найбільш цінної частини - листя та суцвіть.
- Вартість витратних матеріалів. Потреба у постійних закупівлях в'язального шпагату, сітки або полімерної плівки підвищує собівартість кожної тонни корму.

Скиртування - традиційний метод, який досі використовується в невеликих господарствах або при надлишку соломи.

Переваги:

- Мінімальні інвестиції в техніку (не потребує прес-підбирачів).
- При правильному формуванні «гребеня» скирти забезпечується природне стікання дощової води.

Недоліки:

- Високі втрати - до 30-40% поживних речовин через окислення на відкритому повітрі.

- Складність логістики -великий об’єм при малій вазі робить транспортування на великі відстані економічно невигідним.
- Трудомісткість -велика частка ручної праці при формуванні та розбиранні скирти.

Зберігання в сінниках та під навісами. Мінімальна залежність від впливу навколишнього середовища.

Переваги:

- Повний захист від ультрафіолету (збереження каротину) та опадів.
- Можливість облаштування систем активного вентилювання (через канали в підлозі), що дозволяє закладати сіно з підвищеною вологістю (до 20–22%).
- Тривалий термін зберігання (до 2-х років) без суттєвої втрати кормових одиниць.

Недоліки:

- Високі капітальні вкладення - будівництво та обслуговування капітальних споруд потребує значних інвестицій на початковому етапі.
- Обмежена місткість - сховища мають фіксований об’єм, що створює проблеми при перевищенні планових обсягів урожаю.
- Пожежна небезпека
- купчення великої кількості сухого матеріалу в закритому приміщенні потребує складних систем пожежогасіння.

Сінаж - це високопоживний корм, виготовлений із трав’янистої маси (бобових, злакових або їх сумішок), пров’яленої до вологості 50–55% та законсервованої в герметичних умовах. На відміну від силосу, де консервація відбувається завдяки високій кислотності, збереження сінажу базується на «фізіологічній сухості» маси, за якої більшість бактерій не можуть розвиватися через високу силу всмоктування клітинного соку рослин.

Фізико-хімічні показники якості

Якісний сінаж характеризується темно-зеленим кольором, збереженою структурою рослин (м'яка консистенція) та специфічним приємним фруктовим ароматом. Оптимальний рівень pH сінажу становить 4,5–5,0, що свідчить про правильний перебіг мікробіологічних процесів.

Етапи технологічного процесу заготівлі

- Скошування та кондиціювання. Процес розпочинають у фазі бутонізації бобових або на початку колосіння злакових. Це дозволяє отримати на 50–100% більше поживних речовин з одиниці площі порівняно з пізніми укосами. На відміну від сіна, косовицю на сінаж рекомендується розпочинати не раніше 10:00 години, коли спаде роса. Це критично для бобових культур. Висота зрізу має становити не менше 5–8 см. Це технічний бар'єр, що запобігає потраплянню в масу ґрунтових бактерій (зокрема маслянокислих), які можуть зіпсувати весь об'єм сховища. Застосування косарок-плющилок пришвидшує пров'ялювання стебел, вирівнюючи швидкість втрати вологи між листям і стеблом.
- Пров'ялювання та згрібання. Масу витримують у прокосах до вологості 55–60%. Під час збирання та транспортування частина вологи випаровується, що дозволяє досягти цільового показника 50–55% безпосередньо в місці зберігання. Якщо вологість буде вищою за 60%, процес піде за типом силосування, що змінить біохімічний склад корму.
- Подрібнення та транспортування. Для ефективного ущільнення масу подрібнюють до фракції 15–30 мм. Дрібна фракція дозволяє витіснити максимальну кількість повітря (кисню) зі сховища, що є головною умовою анаеробного консервування.

Процес закладання у герметичні сховища

Терміни. Для запобігання перегріву та втраті протеїну заповнення траншеї має тривати не більше 2–4 днів.

Ущільнення. Масу вкладають шарами по 20–30 см та ретельно трамбують важкою технікою. Особливу увагу приділяють зонам біля стінок траншеї.

Температурний контроль. Оптимальна температура маси — 35–37°С. Підвищення температури понад ці межі свідчить про наявність кисню та активізацію шкідливих термофільних процесів, що веде до «згорання» поживних речовин.

Герметизація. Після завершення трамбування бурт накривають шаром свіжоскошеної непров'яленої трави (60–80 см) для створення природного гніту, після чого герметизують полімерною плівкою у 2–3 шари. Плівку щільно притискають вантажами. Також поширеною є технологія заготівлі сінажу у полімерні рукава. Використання та вилучення корму розпочинають через 10–20 днів після завершення герметизації.



Рисунок 1.3. – Процес заготівлі сінажу та силосу у бурти.

Таблиця 1.1. Відсоток вологості скошених рослин

Свіжоскошена трава	70-80%
Листя зів'ялі, стебла свіжі і зелені	50-70%
Листя м'які, стебла обв'ялі і їх забарвлення зблякле, відпадіння листя не спостерігається	40-50%
Листя починає кришитися, стебла ще гнучкі	35-40%
Починають обламуватися черешки листя у бобових трав	30-35%
Листя висохли, кришаться, черешки листя у бобових трав дуже ламкі. При натисканні нігтем з стебел виділяється сік	25-30%
Стебла ще м'які, але сік з них не виділяється, черешки листя у бобових трав дуже ламкі	20-25%
Стебла ламкі, злам прямий, черешки дуже ламкі	20%
При скручуванні в джгут тріщить, ламається, а при відпусканні швидко розкручується. На дотик жорстке, тепле	15%

1.2 Агротехнічні вимоги до виконання процесу заготівлі кормів

Ефективність роботи кормозбиральних машин, зокрема рулонних прес-підбирачів, визначається їх здатністю забезпечувати виконання суворих агротехнічних регламентів. Недотримання цих вимог призводить до незворотних втрат поживних речовин (протеїну, каротину) та зниження енергетичної цінності корму.

Заготівля пресованого та розсипного сіна.

Висота зрізу. Оптимальна висота для природних сінокосів становить 4–6 см, для сіяних трав - 6–8 см. Нижчий зріз призводить до забруднення маси ґрунтом та пошкодження кореневої системи рослин, що сповільнює відростання отави.

Допустимі втрати. Загальні втрати сухої речовини при скошуванні не повинні перевищувати 2%. При підбиранні валків прес-підбирачем втрати не мають перевищувати 3-5%, причому основна частина втрат припадає на найбільш цінні частини рослини - листя та суцвіття.

Чистота маси. Вміст сторонніх домішок (землі, каміння) у готовому сіні не повинен перевищувати 1%. Це вимагає від підбирача преса точного копіювання рельєфу поля.

Вологість. Для пресування в рулони без примусового досушування оптимальна вологість - 16–18%. Якщо передбачено активне вентилювання, допускається пресування при вологості до 22–25%.

Заготівля сінажу

Ступінь подрібнення. Для забезпечення щільного укладання в герметичні сховища довжина часток має становити 20–30 мм. Нерівномірність подрібнення не повинна перевищувати 10%.

Цільова вологість. Пров'ялювання в покосах має тривати до досягнення 45–55%. При вищій вологості (понад 60%) у масі починаються небажані маслянокислі процеси.

Вимоги до пресування. У разі використання технології «сінаж у рулонах», прес-підбирач повинен забезпечувати підвищену щільність пресування (до 400–500 кг/м³), щоб максимально витіснити повітря перед обмоткою плівкою.

Заготівля силосу

Фаза збирання. Для кукурудзи - фаза воскової стиглості зерна, коли вологість всієї рослини становить близько 70%.

Довжина часток. Для кукурудзи з вологістю 70% довжина часток має бути 10–15 мм. Це необхідно для руйнування оболонок зерна, що підвищує засвоюваність корму тваринами.

Температурний режим. В процесі закладки температура маси не повинна підніматися вище 35–37°С. Більш висока температура свідчить про погане ущільнення та проникнення повітря.

Втрати. Загальні механічні втрати під час скошування, подрібнення та транспортування силосної маси не повинні перевищувати 8%.

Таблиця 1.2. Порівняльна таблиця агротехнічних показників.

Показник	Сіно	Сінаж	Силос
Оптимальна вологість, %	17-20	45-55	65-70
Висота зрізу, см	5-6	6-8	10-12
Довжина подрібнення, мм	-	20-30	10-25
Щільність, кг/ м3	150-200	450-500	600-700
Допустимі втрати, %	3-5	2-3	5-8

1.3 Фізичні, біологічні і механіко-технологічні властивості матеріалу

1. Фізичні та об’ємні властивості стеблових матеріалів

Процес ущільнення базується на механічному зближенні часток під дією зовнішніх нормальних напружень у замкненому просторі. Основними показниками, що характеризують поведінку об'єму матеріалу, є щільність, позірність та пористість.

Класифікація за щільністю пресування:

- Пресування в розсипному стані - 50–80 кг/м³;
- Звичайні тюки - 120–150 кг/м³;
- Тюки підвищеної щільності - 220–240 кг/м³;
- Рулони - 300–600 кг/м³;
- Брикети (діаметром до 65 мм) - 600–900 кг/м³;

- Гранули (фігурні елементи діаметром до 25 мм) - 1000–1300 кг/м³.

Параметри пористості. Шар матеріалу займає об’єм, що перевищує об’єм твердої фази через наявність вільних проміжків. Пористість (кількість повітряних включень) лінійно зменшується зі зростанням щільності. Для подрібненої соломи при щільності 200–250 кг/м³ пористість становить 80–85%, тоді як для брикетів (600–800 кг/м³) вона знижується до 45–60%.

Пікнометрична щільність. Цей показник визначає кількість речовини в одиниці об'єму з урахуванням зв'язаної води. Для злакових трав показник становить 1350–1400 кг/м³, для соломи та комбікормів — 1400–1440 кг/м³.

2. Біологічні властивості та форми зв’язку вологи

Ефективність механічного ущільнення прямо залежить від форм зв'язку води з матеріалом, що визначає енергоємність процесу.

Класифікація зв'язків:

- Механічний зв'язок. Вода в макро- та мікрокапілярах, що видаляється найлегше;
- Фізико-хімічний зв'язок. Адсорбційна та осмотична волога;
- Хімічний зв'язок. Вода, що входить до структури молекул.

Вплив вологи на тертя. За підвищення вологості трав'яного борошна з 5% до 20% коефіцієнт тертя знижується вдвічі. При тиску понад 6 МПа волога видавлюється до стінок камери, виконуючи функцію мастила, що нівелює дію адгезійних сил.

3. Механіко-технологічні та реологічні властивості

Реологічна поведінка кормів описується реакцією на прикладені зусилля, які поділяються на об’ємні, поверхневі та зсувні.

Зовнішнє та внутрішнє тертя. Пресування супроводжується подоланням опору переміщенню часток. Статичний коефіцієнт тертя зменшується у 5 разів при зростанні тиску з 6 до 30 МПа.

Температурний фактор. Підвищення температури матеріалу з 293 до 373 К знижує коефіцієнти тертя у 2,5–5 разів. Мінімальний опір пресуванню стеблових кормів спостерігається при досягненні температури понад 373 К та тиску 25 МПа.

Динаміка процесу. На початкових стадіях руху при малих швидкостях домінують в'язкі деформації (згинання та стискання часток). Збільшення швидкості переміщення понад 0,3 м/с призводить до зниження коефіцієнта тертя через скорочення часу контакту часток із поверхнями.

Висновки

1. Технологічна варіативність: Основними методами збереження поживних речовин є зневоднення (сіно) або анаеробне консервування (сінаж, силос). Вибір конкретної технології залежить від цільового призначення корму та технічних можливостей господарства. Найбільш прогресивним методом для сіна та сінажу визнано пресування у рулони та тюки, що забезпечує високу механізацію та мінімізацію втрат листя - найбільш цінної частини рослин.
2. Критичність агротехнічних регламентів. Ефективність заготівлі прямо залежить від дотримання часових та технічних параметрів.

- Фаза розвитку рослин (бутонізація/колосіння) є вирішальною для вмісту протеїну.
- Вологість є головним індикатором: для сіна це 16-18%, сінажу – 45-55%, силосу – 65-70%.
- Порушення висоти зрізу (нижче 5–6 см) веде до бактеріального забруднення маси ґрунтом, що критично для якості сінажу та силосу.

3. Вплив фізико-механічних властивостей. Процес ущільнення стеблових матеріалів є складним механіко-технологічним процесом, на який впливають:

- Форма зв’язку вологи. Визначає енергоємність пресування та потребу в консервантах.

- Щільність. Зі зростанням щільності (від 50 кг/м³ у розсипному стані до 600 кг/м³ у рулонах) лінійно зменшується пористість, що є ключовим фактором для витіснення повітря та запобігання розвитку плісняви.
- Реологічні чинники. Температура та тиск суттєво змінюють коефіцієнт тертя матеріалу, що необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації пресувального обладнання.

2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ РУЛОННИХ ПРЕС-ПІДБИРАЧІВ

2.1 Еволюція та сучасний стан конструкцій рулонних прес-підбирачів

Закордонне сільськогосподарське машинобудування (лідери: Німеччина, США, Франція, Нідерланди) пройшло шлях від суто механічних агрегатів до інтелектуальних систем, що працюють у межах концепції "Agriculture 4.0".

2.1.1 Етап становлення та механічного вдосконалення (2000–2010 рр.)

Типи камер пресування. В цей період остаточно розділилися сфери застосування камер. Вальцьові камери (Claas Rollant, Krone Round Pack) стали стандартом для вологого силосу завдяки жорсткій конструкції. Пасові камери (John Deere 500-ї серії, Vermeer) виикорситовували в сегменті сухого сіна через можливість формування рулонів змінного діаметру з високою щільністю від самого центру.



а)



б)

Рисунок 2.1. – Рулонний прес-підбирач з камерою: а) фіксованого об’єму (вальцевою); б) змінного об’єму(пасовою).

Основна відмінність між цими типами камер полягає у механізмі формування рулону та можливості регулювання його щільності від центру до країв.

- Камера фіксованого об’єму.
    - Принцип роботи: маса подається в камеру і починає хаотично закручуватися лише тоді, коли заповнить майже весь об'єм. До цього моменту серцевина рулону залишається пухкою.
    - Переваги :
        a) Надійність. Проста і витривала конструкція, мінімальний ризик розриву робочих елементів при потраплянні сторонніх предметів.
        b) Вентиляція: Завдяки пухкій серцевині, рулон краще «дихає». Це критично для досушування сіна безпосередньо в рулоні.
    - Недоліки. Обмежена щільність пресування та неможливість змінити діаметр рулону.
- Камера змінного об’єму. Пасові прес-підбирачі оснащені набором надміцних еластичних пасів, які створюють камеру, що змінює свій розмір.
    - Принцип роботи: формування рулону починається з самого центру. Паси обтискають масу з моменту потрапляння першої порції, створюючи тиск від самого «ядра».
    - Переваги :

    a) Висока щільність. Пасові машини дозволяють досягти максимальної щільності пресування, що економить місце при зберіганні та витрати на шпагат/сітку.
    b) Універсальність. Оператор може налаштувати діаметр рулону (наприклад, від 0,9 до 1,8 м) залежно від потреб господарства
    c) Мінімальні втрати. Паси делікатніше поводяться з листовою масою (особливо актуально для люцерни), не «вибиваючи» найціннішу частину рослини.

- Недоліки. Вища вартість обслуговування (заміна пасів) та чутливість до дуже вологої маси, яка може налипати на ролики.

Таблиця 2.1. Порівняльна характеристика камер з постійним та змінним об’ємом.

Параметр	Камера постійного об'єму	Камера змінного об'єму
Тип роб.органу	Жорсткі сталеві вальці	Еластичні гумові паси
Формування серцевини	Пухка	Щільна
Регулювання діаметру	-	Плавно регулюється
Призначення	Сіно, сінаж	Сіно сухе та вологе
Втрати листя	Середні	Мінімальні

Системи подачі. Впровадження роторних живильників замість альтернативних гребінок. Початок масового застосування систем подрібнення маси (Roto Cut, Multi-Cut). Використання 14–17 ножів дозволило збільшити щільність рулону на 15%, що суттєво знизило логістичні витрати.



а) б)

Рисунок 2.2. – Рулонний прес-підбирач з системою подачі: а) граблі; б) ротор.

- Грабельний механізм - це система зворотно-поступальної дії, де зубці (граблини) рухаються по замкненій траєкторії, «проштовхуючи» порції маси в камеру.
- Принцип роботи: циклічна подача маси. Граблини здійснюють робочий хід, подають порцію, а потім повертаються у вихідне положення.
- Переваги:
    a) Простота конструкції: Дешевше у виробництві та ремонті.
    b) Мала вага: Не перевантажує передню частину агрегату.
- Недоліки:
    a) Обмежена продуктивність. Через циклічність роботи виникають «паузи» у подачі, що обмежує швидкість руху трактора.
    b) Вібрації. Зворотно-поступальний рух створює динамічні навантаження на раму.
    c) Нерівномірність: Можливе утворення «пробок» при роботі з вологою або густою масою.
- Роторний живильник - це сучасний вузол безперервної дії, де на валу розташовані зіркоподібні диски/ пальці які обертаються і постійно подають масу.
- Принцип роботи: безперервне затягування маси з підбирача. Зубці ротора входять у потік сіна і примусово транспортують його в камеру пресування.
- Переваги:
    a) Висока пропускна здатність. Дозволяє працювати на швидкості 12–15 км/год (8–10 км/год з граблями).
    b) Рівномірність пресування. Маса подається суцільним потоком, що забезпечує однакову щільність рулону по всьому об'єму.
    c) Можливість подрібнення. На роторні живильники є можливість встановити систему ножів (Roto-Cut), що дозволяє подрібнювати масу.
- Недоліки: Вища вартість та потреба у потужнішому ВВП трактора.

Таблиця 2.2. Порівняльна характеристика живильних робочих органів.

Параметр	Граблини	Роторний живильник
Тип руху	Зворотно-поступальний, циклічної дії	Обертальний, безперервної дії
Продуктивність	Середня	Висока
Рівномірність подачі	Порційна	Рівномірний потік
Рівень шуму та вібрації	Високий	Мінімальний
Можливість подрібнення маси	Відсутня	Можлива
Надійність при великих валках	Схильність до забивання	Проштовхування маси

Автоматизація обв'язки. За кордоном у цей період відбувся повний перехід на обв’язку сіткою. Це дозволило скоротити час простою преса на 70% порівняно зі шпагатом.

- Обв’язка шпагатом (поліпропіленова нитка) - традиційний метод, де нитка спірально намотується на рулон, що обертається в камері.
- Особливості: Потребує великої кількості обертів рулону (від 10 до 20 залежно від налаштувань), щоб надійно зафіксувати масу.
- Недоліки:
    a) Низька продуктивність. Процес зупинки трактора для обв’язки займає 45–60 секунд.
    b) Втрати маси: Між витками шпагату дрібна фракція (листя люцерни тощо) висипається під час транспортування.
    c) Проникнення вологи: Шпагат не створює герметичного шару, що прискорює псування сіна під дощем.

- Обв’язка сіткою - метод, де рулон обертається лише 1.5–3 рази, повністю покриваючи поверхню.
- Особливості: Сітка охоплює рулон по всій ширині одночасно.
- Переваги:
    a) Швидкість: Час обв’язки скорочується до 5–10 секунд, що забезпечує економію часу простою на 70%.
    b) Геометрія та захист: Сітка щільно притискає всі стирчачі стебла, створюючи гладку поверхню, яка краще відштовхує воду.
    c) Логістика: Рулони, обв’язані сіткою, стійкіші при перевезенні та зберіганні в штабелях.

Таблиця 2.3. Порівняльна характеристика обв’зуючих матеріалів.

Параметр	Шпагат	Сітка
Час на обв'язку одного рулону	45-90 сек	5-12 сек
Кількість обертів рулону	15-25	2-3
Якість покриття поверхні	Смугове	Суцільне
Втрати маси при перевезенні	5-7%	<1%
Захист від опадів	-	Високий

2.1.2 Інтелектуалізація та стандартизація (2010–2020 рр.)

Впровадження ISOBUS. Інтеграція стандарту ISO 11783 (ISOBUS) — це основа концепції «Розумного землеробства» (Smart Farming). Протокол об'єднує трактор і причіпний агрегат у єдину інформаційну мережу, уніфікуючи термінали керування незалежно від виробника техніки (John Deere, Kuhn, Kverneland).Переваги:

a) Стандартизація протоколів дозволяє керувати будь-яким причіпним знаряддям через єдиний термінал (Universal Terminal), виключаючи потребу в додаткових моніторах.
b) Двостороння комунікація: Забезпечує зворотний зв'язок від датчиків прес-підбирача (вологість, щільність, навантаження на ВВП) до бортового комп'ютера трактора.
c) Автоматизація (TIM): Система Tractor Implement Management дозволяє прес-підбирачу самостійно керувати швидкістю та зупинкою трактора для обв'язування рулону, мінімізуючи людський фактор

Система DropFloor. Дозволяє оператору дистанційно з кабіни опускати дно камери живлення для усунення заторів рослинної маси, що підвищує змінну продуктивність агрегату на 20%.

Baler-Wrapper Combo. Впровадження машин прес-підбирача з обмотувачем дозволило поєднати формування рулону та його герметичне пакування в плівку за один прохід



Рисунок 2.3. – Комбінація прес-підбирача з обмотувачем.

Безкулачкові підбирачі. Відмова від складних бігових доріжок у підбирачах (система EasyFlow від Krone). Це дозволило збільшити швидкість підбирання на 30% та зменшити кількість деталей, що зношуються.

2.1.3 Сучасні тенденції: автономність та precision farming (2020–сьогодення)

Сучасний етап розвитку за кордоном фокусується на повній автоматизації процесу та контролі якості корму.

Цифрова паспортизація рулонів. Використання систем Bale ID - система ідентифікації дозволяє відстежувати життєвий цикл кожного рулону, від моменту пресування в полі до згодовування тваринам. Це реалізується шляхом інтеграції сенсорів на прес-підбирачі та систем фіксації даних.

- Технологічні методи ідентифікації:
- RFID-мітки (Radio Frequency Identification). У процесі обв’язки сіткою або шпагатом у рулон автоматично впорскується мікрочіп (RFID-мітка). Зчитувач на навантажувачі або на фермі дозволяє миттєво отримати всі дані про рулон без необхідності ручного зважування чи лабораторних аналізів кожного окремого екземпляра.
- Геоінформаційна прив’язка (GPS-тегування): Кожному рулону присвоюється унікальний номер, який у хмарному сховищі прив’язаний до GPS-координат місця його вивантаження. Це дозволяє створювати «карти врожайності» сінажу або соломи безпосередньо в кабіні трактора.
- Склад «цифрового паспорта» рулону:
- Точна вага. Дані з тензометричних датчиків на осях або в камері пресування.
- Рівень вологості. Визначається мікрохвильовими датчиками в режимі реального часу.

- Хімічний склад. Використання NIR-сенсорів (інфрачервона спектроскопія) для визначення вмісту сирого протеїну, цукру, клітковини (NDF/ADF) та золи.
- Дата та умови збору. Температура повітря та час пресування.

Система Film-on-Film. Замість сітки для обв'язки в камері використовується широка полімерна плівка. Це покращує герметизацію сінажу на 25% та полегшує утилізацію упаковки, оскільки використовується лише один тип матеріалу.

- Техніко-технологічні переваги
- Покращена герметизація та якість корму:
    a) Плівка, на відміну від сітки, щільно притискає повітряні кишені на поверхні рулону. Це забезпечує на 25% вищу герметичність на початковому етапі упаковки.
    b) Швидка зупинка дихання рослин і прискорення процесу ферментації (силосування) завдяки відсутності кисню під першими шарами обгортки.
- Збільшення щільності на краях рулону. Широка плівка (Mantled Film) краще стягує рулон, запобігаючи їх розширенню після виходу з камери. Це полегшує подальшу логістику та штабелювання.
- Спрощена утилізація. Використовується лише один тип матеріалу - поліетилен. Фермеру не потрібно вручну відділяти сітку від плівки під час розпакування рулону, що значно економить час і дозволяє здавати всю упаковку на переробку як єдину сировину.

Електрифікація приводів. Поява перших прототипів повністю електричних прес-підбирачів, що працюють від ВВП трактора з електроприводом або автономно, що знижує витрати палива на 10-12%.

2.2 Аналіз розвитку конструкцій на ринку рулонних прес-підбирачів в Україні

Розвиток вітчизняного ринку техніки для заготівлі пресованих кормів пройшов шлях від базових радянських моделей до високотехнологічних інтелектуальних систем. На початкових етапах основу парку машин складали технічні засоби вітчизняного та радянського виробництва, представлені пасовими пресами ПРП-1.6 та ланцюгово-планчастими ПР-1.4. Модель ПРП-1.6 із камерою змінного об'єму забезпечувала щільну серцевину рулону, проте мала низьку надійність прогумованих пасів та надто складну для налаштування гідросистему.

Альтернативний прес ПР-1.4 вирізнявся простотою конструкції, але мав суттєві технологічні недоліки: формування «пухкої серцевини» рулону через фіксований об'єм камери та значні втрати дрібної фракції корму.

Масовий технологічний перехід до ефективніших методів кормозаготівлі відбувся завдяки масовому впровадженню вживаної європейської техніки. Моделі Claas Rollant 46 з вальцьовою камерою та системою допресування MPS, Welger RP 200 із суцільнометалевими профільованими вальцями та пасові машини Kuhn RC 121 задали нові стандарти надійності, захисту від налипання маси та варіативності діаметра рулонів.

Сучасний стан ринку України чітко розділений за потужністю та техніко-економічними вимогами господарств на фермерський та професійний сегменти. У професійному сегменті (великі агрохолдинги) домінують високопродуктивні агрегати та комбінації типу «прес-обмотувач» (Krone Comprima, McHale Fusion), які за один прохід формують рулон і герметично упаковують його в полімерну плівку. Серед лідерів ринку виділяється серія Krone Comprima, де застосовано технологію NovoGrip (планчастий транспортер на тканинному корді) для пресування будь-якої маси з екстремальною щільністю. Моделі Claas Rollant 455 Uniwrap вирізняються посиленою конструкцією Heavy Duty та інтегрованою системою обмотки. Високошвидкісні прес-підбирачі John Deere 900 Series забезпечують вивантаження

рулону менш ніж за 5 секунд завдяки системі FRC та підтримують повну автоматизацію через протокол ISOBUS (технологія TIM), що дозволяє агрегату самостійно керувати зупинкою та швидкістю трактора.

Фермерський сегмент (середні та малі господарства) орієнтований на простіші, доступніші рішення польського виробництва (Metal-Fach, Unia). Ці машини оснащуються вальцьовими або комбінованими камерами, системами централізованого змащення ланцюгів та роторами-подрібнювачами маси. Для приватних підсобних господарств використовуються мобільні китайські міні-преси (типу Star 850), які формують малогабаритні рулони вагою 15–30 кг, що усуває потребу у використанні фронтальних навантажувачів і мінімізує витрати на спецтехніку. Таким чином, сучасний вектор розвитку конструкцій рулонних прес-підбирачів в Україні спрямований на підвищення щільності пресування, автоматизацію робочих циклів та суміщення технологічних операцій

Висновки

1. Визначено конструктивно-технологічні межі застосування пресувальних камер. Камери фіксованого об'єму (вальцьові) є оптимальними для заготівлі вологого силосу та досушування сіна завдяки пухкій серцевині рулону, тоді як камери змінного об'єму (пасові) забезпечують максимальну щільність пресування від самого центру та гнучке регулювання діаметра рулону для сухих матеріалів.
2. Доведено ефективність переходу на роторні живильники. Впровадження роторних робочих органів безперервної дії підвищило робочу швидкість агрегатів до 12–15 км/год, забезпечило рівномірність подачі маси, а інтеграція систем подрібнення (Roto Cut) дозволила підвищити щільність пресування на 15% із відповідним зниженням логістичних витрат.

3. Обґрунтовано переваги переходу на пакувальні матеріали нового покоління. Заміна традиційного шпагату на обв'язку сіткою скоротила час простою на 70% (до 5–12 сек на рулон) та знизила втрати корму при транспортуванні до <1%. Сучасна технологія Film-on-Film за рахунок використання полімерної плівки замість сітки підвищила початкову герметичність сінажу на 25% та спростила утилізацію відходів.
4. Оцінено рівень інтелектуалізації сучасних агромашин. Інтеграція протоколу ISOBUS та технології TIM дозволила автоматизувати повний цикл роботи (самостійне керування швидкістю та зупинкою трактора), а системи Bale ID (RFID-мітки та GPS-тегування) разом із інфрачервоними NIR-сенсорами забезпечили формування цифрового паспорта рулону (вага, вологість, хімічний склад) у реальному часі.
5. Проаналізовано специфіку та вектори розвитку українського ринку. Вітчизняний парк машин трансформувався від застарілих і ненадійних моделей ПРП-1.6 та ПР-1.4 до чіткого розподілу на фермерський сегмент із доступними вальцьовими машинами та професійний сегмент агрохолдингів із високопродуктивними комбінаціями «прес-обмотувач. Сучасний вектор розвитку спрямований на повну автономність, автоматизацію робочих циклів та суміщення технологічних операцій за один прохід агрегату.

3 ПАТЕНТНИЙ АНАЛІЗ

Патент US3981391A

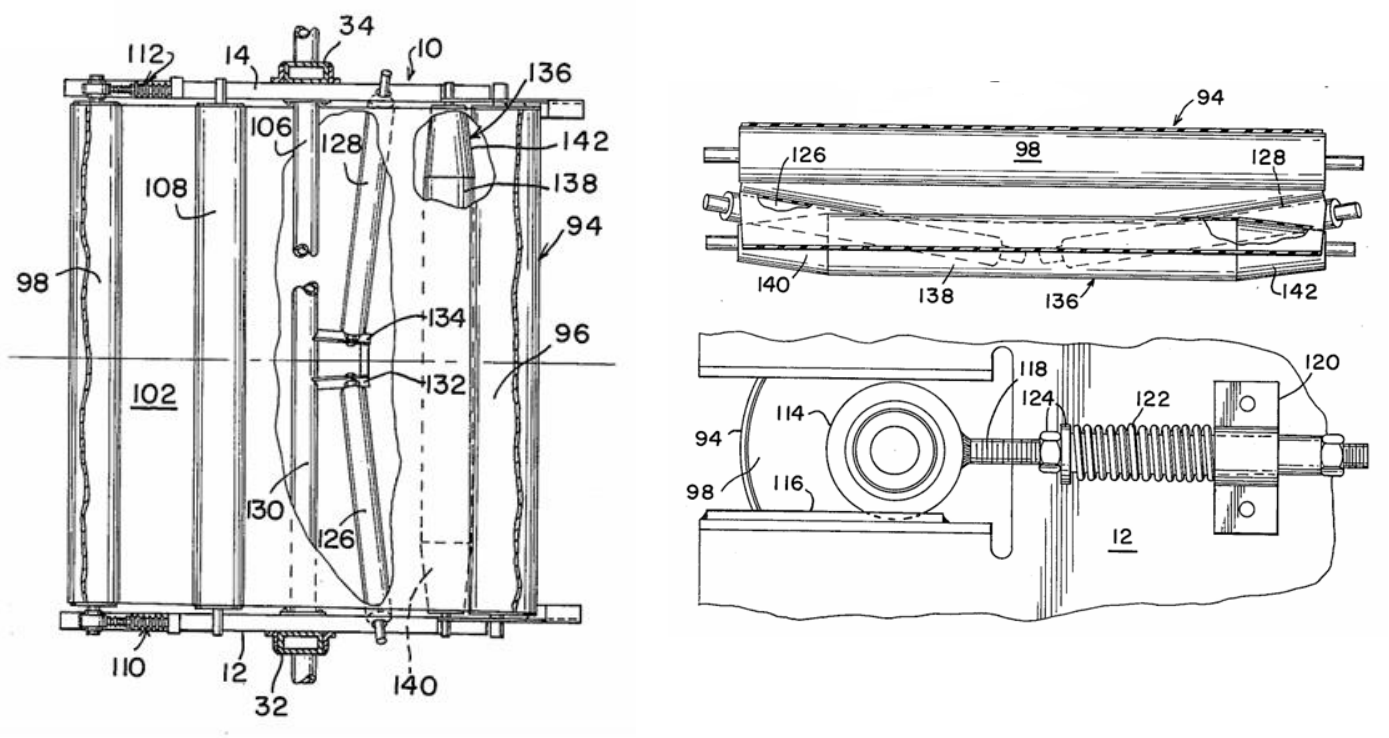


Рисунок 3.1. – Удосконалений вузол центрування нижньої гілки паса: 94 — Нижня безкінечна стрічка; 98 - задній натяжний ролик; 96 - передній приводний ролик; 102 - нижня зворотна гілка стрічки; 100 - верхня робоча гілка стрічки; 126, 128 - направляючі ролики; 136 - компенсаційний ролик; 138 - центральна циліндрична частина компенсаційного ролика; 140, 142 - кінцеві конічні частини компенсаційного ролика; 130 - поперечна балка; 132, 134 - підшипникові кронштейни; 114 - підшипниковий вузол натяжного ролика; 116 - поздовжній паз у боковій рамі; 118 - різьбовий шток; 120 - кронштейн кріплення; 122 - натяжна пружина; 124 - гайка з шайбою; 12 - бокова рама; 106, 108 - опорні ролики верхньої гілки; 110, 112 - пружинні вузли натягу; 34, 10 Елементи верхньої конструкції

Система центрування пасів для рулонного прес-підбирача.

«Технічним результатом винаходу є запобігання бічному сходженню та зміщенню пасів (стрічок) під час роботи прес-підбирача, що забезпечує стабільність

їхнього руху, зменшення зносу та підвищення надійності пасового контуру в цілому.

Поставлене завдання вирішене тим, що в рулонному прес-підбирачі, який містить безкінечну пасову стрічку, приводні та натяжні ролики, згідно з винаходом, передбачена спеціальна система центрування нижньої зворотної гілки пасу. Система включає направляючі ролики, які формують V-подібний жолоб нижньої гілки стрічки, та компенсаційний ролик з конічними кінцевими ділянками, який автоматично вирівнює та центрує пас перед приводним роликом. Натяжний механізм оснащений пружинними елементами та поздовжніми пазами для забезпечення постійного натягу та компенсації можливих відхилень [24]».

Така конструкція забезпечує стабільне положення пасів навіть при нерівномірному навантаженні, деформаціях рами або роботі з різними видами рослинної маси, що значно зменшує ризик сходження пасів з роликів та підвищує загальну ефективність прес-підбирача.

Патент US6094900A

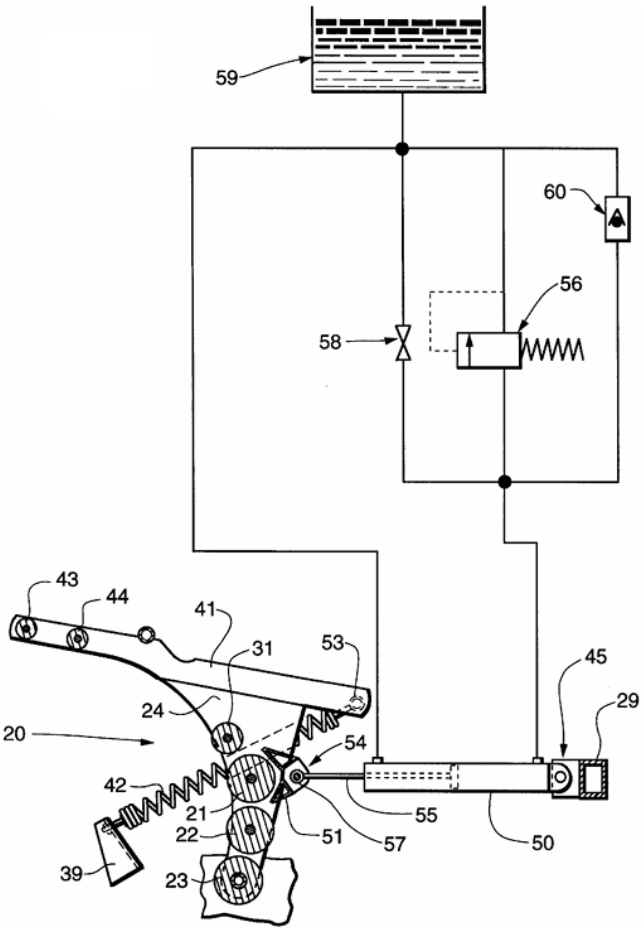


Рисунок 3.2. Схема системи контролю натягу пасів: 20 - каретка; 21, 22, 23 - пресувальні ролики; 41 - важіль; 50 - гідроциліндр; 55 - шток гідроциліндра; 29 - кріплення гідроциліндра; 39 - пружинний вузол; 42 - натяжна пружина; 31 - інерційний ролик; 43, 44 - направляючі ролики; 53 - точка шарнірного з’єднання; 54 - кулачок; 56 - гідравлічний акумулятор з пружиною; 58 - запірний клапан; 59 - гідравлічний насос; 60 - гідравлічний бак.

«Об'єктом модернізації є важільний механізм натягу, який кінематично пов'язаний із гідроциліндрами та системою пружинних тяг. Удосконалення полягає в оптимізації траєкторії руху натяжних валів та стабілізації зусилля натягу пасів на початковій стадії формування рулону. Рама натягу обладнана додатковими жорсткими просторовими елементами, які компенсують пружні деформації та

запобігають перекосу валів під дією асиметричних навантажень від пресованої маси.

Технічним результатом розробки є підвищення стабільності формування геометрії рулону, забезпечення рівномірної щільності пресування по всій ширині камери, а також ліквідація перекосів і бічного сходження безкінечних пресувальних пасів шляхом забезпечення постійної паралельності осей натяжних роликів [25]».

У рулонному прес-підбирачі, який містить камеру формування змінного об'єму з безкінечними пресувальними пасами та рухому натяжну рамку, згідно з винаходом, механізм контролю натягу виконано у вигляді просторової важільної системи із заданою геометрією розташування точок кріплення гідроциліндрів та пружин. Така конструкція забезпечує нелінійну зміну сили натягу пасів залежно від поточного радіуса рулону, мінімізує крутні та згинальні моменти на бічні елементи рами, забезпечуючи жорстку фіксацію натяжних валів у просторі та запобігаючи їхньому кутовому зміщенню.

Патент US11032974B2

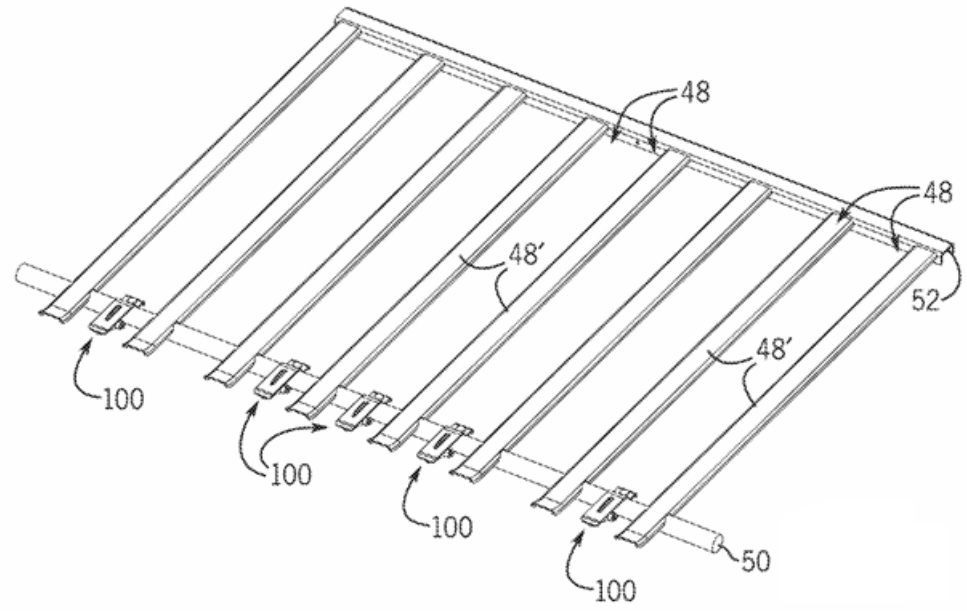


Рисунок 3.3. – Удосконалена рамка направляюча з направляючими пасів: 100 - зовнішній направляч пасу; 48 - направляюча планка; 48' - модифікована направляюча планка; 50 - поперечна балка; 52 - Кріпильний елемент.

Зовнішній направляч пасів для рулонного прес-підбирача.

«Технічним результатом винаходу є зменшення накопичення рослинної маси між пасом та елементами конструкції прес-підбирача, а також покращення стабільності руху пасу та обгорткового матеріалу при вході в пресувальну камеру [26]»

Поставлене завдання вирішене тим, що в рулонному прес-підбирачі, який містить пресувальну камеру з пасом для формування рулону, згідно з винаходом, зовні камери встановлено додатковий зовнішній направляч пасу. Направляч має внутрішню поверхню, яка розташована практично паралельно пасу, та виступ, що спрямований всередину до рулону. Така конструкція забезпечує точне керування траєкторією руху пасу та обгорткового матеріалу перед входом у камеру пресування, запобігаючи бічному зміщенню пасу та накопиченню рослинних решток.

Висновки

Аналіз світового досвіду та передових конструкторських рішень провідних закордонних виробників сільськогосподарської техніки, представлений у патентах US 3981391 A, US 6094900 A та US 11032974 B2, свідчить, що забезпечення стабільної траєкторії руху пресувальних пасів та ліквідація їхнього бічного сходження є однією з ключових науково-технічних проблем у рулонних прес-підбирачах із камерою змінного об'єму.

Для стабілізації руху пасового контуру розробники застосовують складні комбіновані системи, які включають пасивні напрямні елементи з внутрішніми виступами (патент US 11032974 B2), конічні тривимірні компенсаційні ролики для самовирівнювання нижньої зворотної гілки паса (патент US 3981391 A), а також просторові важільні механізми контролю динамічного натягу з нелінійним керуванням зусиллям через систему гідроакумуляторів та кулачків (патент US 6094900 A). Дані технічні рішення спрямовані на компенсацію пружних деформацій рами та усунення кутового зміщення осей валів під дією асиметричних навантажень від рослинної маси.

Недоліки закордонних аналогів в умовах вітчизняної експлуатації:

- Незважаючи на високу ефективність, впровадження систем пасивних механічних обмежувачів або V-подібних роликових жолобів безпосередньо збільшує металоємність преса, ускладнює кінематичну схему та підвищує ризик пошкодження кромки пасів при їхньому жорсткому контакті з деталями конструкції.
- Гідродинамічні системи компенсації є занадто складними для реалізації в умовах типових ремонтних підприємств агропромислового комплексу України та чутливими до запиленості й експлуатаційного зносу.
- Усунення наслідків проблеми перекосу, а не першопричини.

На відміну від закордонних підходів, де наслідки деформацій компенсуються встановленням додаткових напрямних органів (роликів, планок, кареток), у даному дипломному проєкті прийнято рішення усунути першопричину сходження пасів - кутовий перекіс валів через недостатню жорсткість базових конструкцій.

Замість ускладнення кінематики, запропоновано виконати модернізацію натяжної рами ПРП-1.6 шляхом створення жорсткої просторової зварної конструкції із заміною базових елементів на профільну трубу прямокутного (квадратного) замкненого перерізу. Це дозволяє забезпечити паралельність осей натяжних і приводних роликів за будь-яких режимів навантаження, мінімізувати крутні та згинальні моменти на бічні елементи рами та досягти аналогічного технічного результату щодо стабілізації ходу пасів без ускладнення кінематичної схеми преса, суттєво знижуючи його металоємність і вартість виготовлення.

4 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ РУЛОНУ В КАМЕРІ ПРЕСУВАННЯ ТА ВИЗНАЧИТИ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЙОГО ЩИЛЬНІСТЬ

4.1 Особливості формування рулону в прес-підбирачах з камерою змінного об’єму

Процес починається з петлеутворення:

- Початкова фаза. Пресувальні паси у вихідному положенні утворюють петлю мінімального радіуса. Рослинна маса, що подається підбирачем, одразу піддається дії натягнутих пасків. Це критично важливо для усунення "пухкої серцевини", що характерно для вальцьових пресів.
- Формування серцевини. Завдяки тому, що паси тиснуть на масу з самого початку, рулон не має пухкого центру. Це важливо для стабільності форми під час транспортування.
- Змінний радіус. У міру зростання рулону натяжний пристрій відхиляється, долаючи опір гідравлічної системи, але при цьому зберігаючи постійний тиск пасків на поверхню рулону.

4.2 Математичне моделювання процесу ущільнення

Процес пресування рослинних матеріалів можна описати через взаємозв’язок між питомим тиском (P) та щільністю (ρ). Цей процес моделюється за допомогою адаптованого рівняння Реєра:

$$P = a \times e^{b\rho}, \tag{3.1}$$

де a та b - коефіцієнти, що залежать від виду культури та її фізико-механічних властивостей (вологості, модуля пружності).

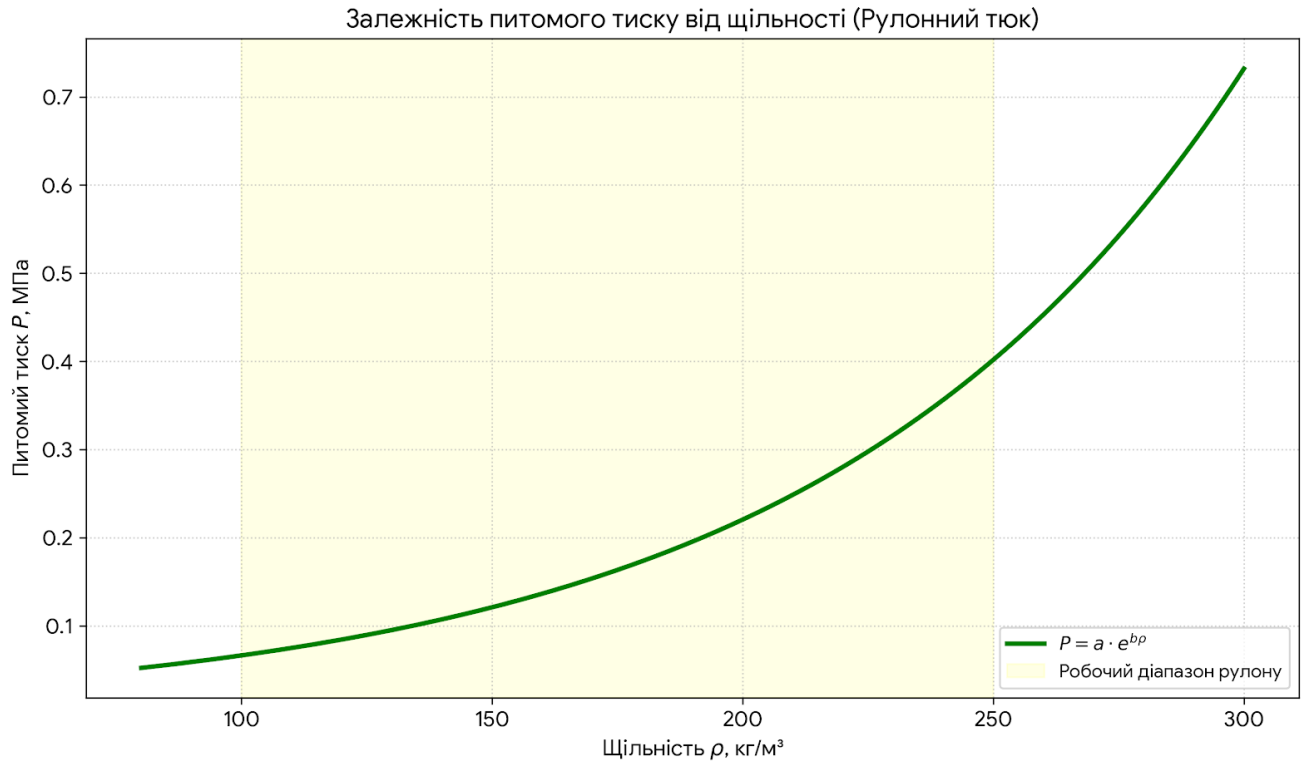


Рисунок 3.1. – Графік залежності питомого тиску від щільності пресування.

Для камери змінного об’єму щільність у будь-якій точці рулону визначається зусиллям натягу пасків T. Використовуючи модель розподілу напружень, можна стверджувати, що нормальний тиск на поверхню рулону Pn дорівнює:

$$Pn = \frac{T}{R \times B}, \tag{3.2}$$

де:

- T - сумарне зусилля натягу всіх пасків (Н);
- R - поточний радіус (м);

- B - ширина какмери (м).

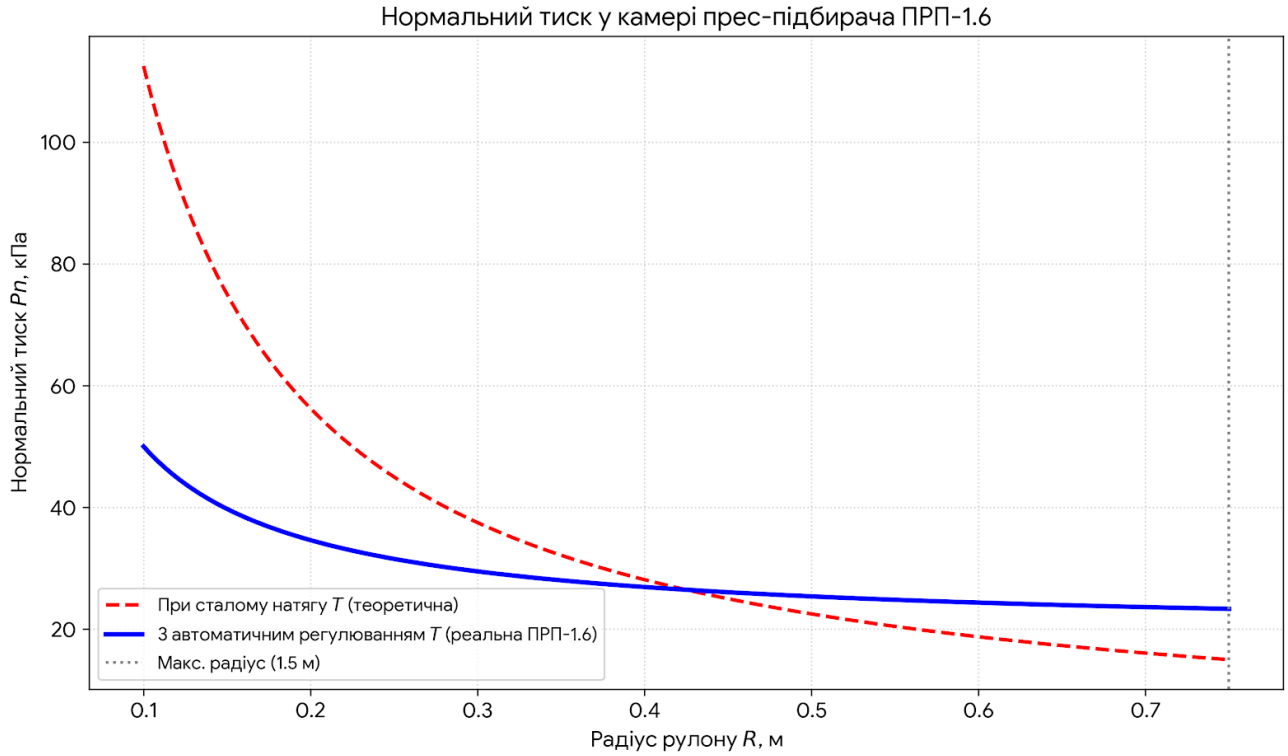


Рисунок 3.2. – Графік залежності питомого тиску від щільності пресування.

4.3 Фактори, що впливають на щільність рулону

- Вологість сировини (W). Згідно з дисертаційними дослідженнями, коефіцієнт внутрішнього тертя та тертя об стінки камери суттєво зростає при збільшенні вологості. Для прес-підбирачів з камерами змінного об'єму оптимальний діапазон вологості становить 17-22%. При W > 25% спостерігається неконтрольоване зростання щільності, що може призвести до розриву пасків
- Тиск у гідросистемі натягу. Це основний конструктивний фактор. Змінюючи налаштування запобіжного клапана, механізатор задає силу опору розширенню пасків. Щільність змінюється в діапазоні від 100 до 200 кг/м³.

- Стан пресувальних пасків. Коефіцієнт тертя між пасом та стеблами. Якщо паси зношені або "засалені", виникає проковзування маси, що призводить до нерівномірності щільності та зупинки обертання рулону (забивання камери).
- Швидкість подачі. Критично важливо підтримувати рівномірну товщину валка. Оскільки камера змінна, занадто товстий валок на початку може призвести до утворення "м'якого" центру через інерційність натяжного механізму.
- Фізичні властивості культури. Модуль пружності (E) для люцерни та злакових трав визначає "віддачу" або розширення рулону після виходу з камери. Це необхідно враховувати при виборі кроку обмотки шпагатом.

4.4 Аналітична модель

Щільність рулону (ρ) можна представити як функцію зусилля натягу пасків (T):

$$\rho = \rho_0 + k \times \frac{T}{R(t)}, \quad (3.3)$$

,

Де:

- T - зусилля натягу пасків;
- R(t) - поточний радіус рулону, що зростає;
- k - коефіцієнт пресованості конкретної культури.

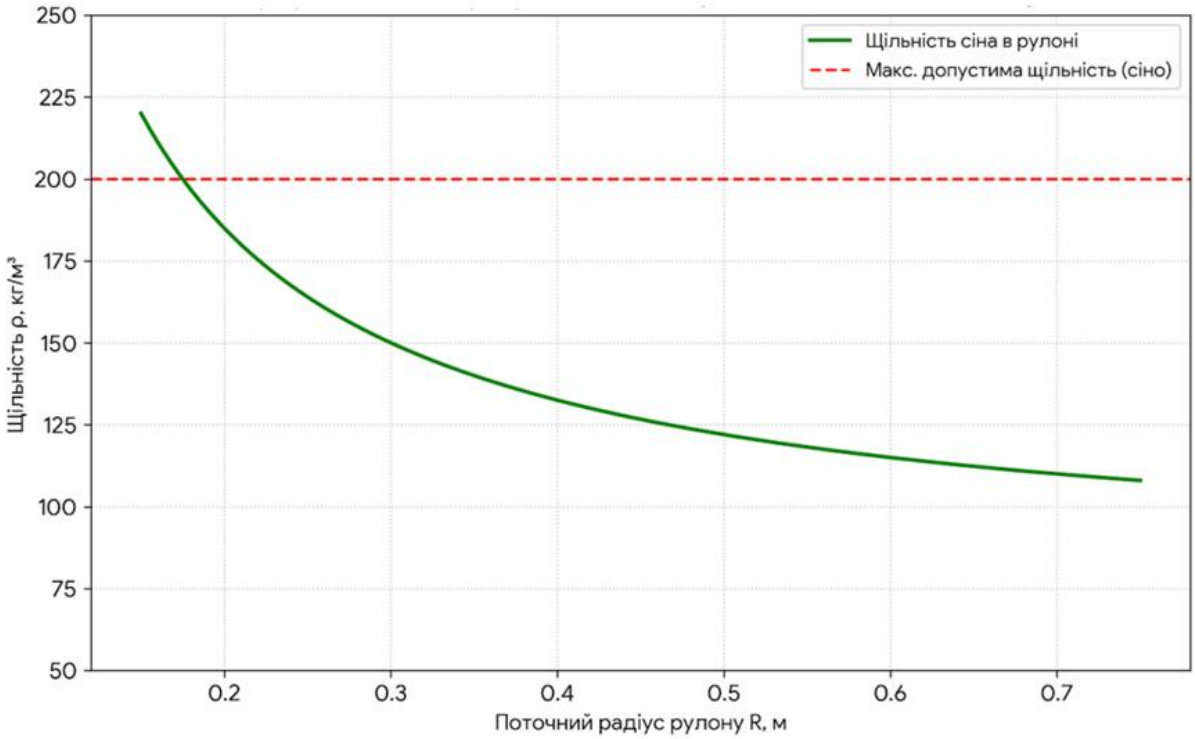


Рисунок 3.3. – Графік залежності питомого тиску від щільності пресування.

Висновки

1. Обґрунтовано переваги камер змінного об'єму. Встановлено, що процес пресування, який починається з фази петлеутворення, дозволяє усунути проблему «пухкої серцевини». Завдяки постійній дії натягнутих пасів з моменту подачі перших порцій маси, забезпечується висока щільність центру рулону, що є критично важливим для збереження його форми під час тривалого транспортування та зберігання.
2. Математично описано процес ущільнення. Використання адаптованого рівняння Реєра (3.1), дозволяє з високою точністю прогнозувати необхідний питомий тиск для досягнення заданої щільності пресування залежно від фізико-механічних властивостей культури (вологості та модуля пружності).

3. Визначено ключові фактори впливу на якість рулону. Доведено, що щільність пресування є функцією від зусилля натягу пасів (T), поточного радіусу рулону (R) та характеристик сировини. Встановлено, що:
    - Оптимальний діапазон вологості для роботи прес-підбирача становить 17–22%. Перевищення порогу у 25% призводить до ризику пошкодження робочих органів через неконтрольоване зростання щільності.
    - Стан пресувальних пасів безпосередньо впливає на рівномірність щільності; зношені паси спричиняють проковзування маси та забивання камери.
4. Проаналізовано динаміку тиску в камері. Графічний аналіз нормального тиску (Pn) показав, що автоматичне регулювання зусилля натягу (реалізоване в моделі ПРП-1.6) дозволяє стабілізувати тиск на поверхню рулону в міру зростання його радіусу, на відміну від систем зі сталим натягом, де тиск стрімко падає.
5. Встановлено робочі параметри. На основі аналітичної моделі визначено, що для сіна робочий діапазон щільності становить 100–200 кг/м³. При цьому необхідно враховувати «віддачу» (розширення) рулону після виходу з камери, що залежить від модуля пружності конкретної культури.

5 МОДЕРНІЗАЦІЯ РУЛОННОГО ПРЕС-ПІДБИРАЧА ПРП-1.6

5.1 Обґрунтування актуальності модернізації пресувального механізму ПРП-1.6

Однією з найбільш поширених і критичних проблем рулонних прес-підбирачів ПРП-1.6 є сходження пресувальних пасів убік під час роботи. Це явище суттєво знижує надійність машини, якість формування рулону та продуктивність збирання.

Основні причини сходження пасів:

- Деформація та недостатня жорсткість передньої (верхньої) рамки
- Під дією значних зусиль натягу та нерівномірного навантаження від рослинної маси передня рамка зазнає пружних і залишкових деформацій. У результаті порушується паралельність валів, з’являється перекос, і паси починають сповзати в бік меншого опору.
- Нерівномірний розподіл зусилля натягу по ширині рамки
- Відсутність ефективної системи центрування пасів
- Знос елементів конструкції
- Знос підшипників валів, осей, втулок і самих пасів з часом посилює проблему.
- Особливості роботи з різними культурами
- Волога маса, люцерна, нерівномірна подача матеріалу створюють додаткове бічне навантаження на паси.

Наслідки:

- Зниження якості рулону - при сходженні пасів порушується рівномірність ущільнення, з’являється «пухке ядро» або рихлі бічні зони.
- Збільшення втрат корму - погано сформований рулон розсипається під час викидання, транспортування та зберігання.

- Зниження продуктивності - оператор змушений часто зупиняти машину для ручного центрування пасів.
- Прискорений знос пасів - при роботі «на ребро» термін служби пасів зменшується в 2–3 рази.
- Поломки механізму - у важких випадках пас може повністю зійти і пошкодити інші елементи прес-камери.

За даними спостережень механізаторів та сервісних служб, проблема сходження пасів є однією з головних причин простоїв ПРП-1.6 і суттєво знижує ефективність використання машини, особливо при заготівлі сінажу та люцерни.

У зв’язку з цим удосконалення передньої рамки камери пресування з метою підвищення її жорсткості та забезпечення стабільного положення пресувальних пасів є актуальним і практично значущим напрямком модернізації.

5.2 Конструктивні особливості та вибір матеріалу модернізованої рами

Для усунення проблеми деформації, недостатньої жорсткості та виникнення перекосів валів, що призводить до сходження пресувальних пасів убік, базовий гарячекатаний швелер натяжного механізму замінено на просторову зварну конструкцію прямокутного замкненого профілю. Як основний конструкційний матеріал обрано профільну прямокутну трубу номінальним перерізом 100х60х5мм за ДСТУ 8940:2019.Вибір даного профілю обґрунтовується його високими геометричними характеристиками при відносно низькій металоємності. Геометричні та механічні характеристики профілю:

- Ширина профілю: B = 100 мм};
- Висота профілю: H = 60 мм;
- Товщина стінки: s = 5 мм;
- Момент опору перерізу відносно головної осі згину: W_x = 30,5 см^3 =

= 30,5 x10^{-6}м^3

- Осьовий момент інерції перерізу профільної труби: I_x= 152,4 см^4=152,4x10^{-8}м^4
- Матеріал конструкції - Сталь 3 з границею текучості σ = 245 МПа. Допустиме напруження на згин із врахуванням нормативного коефіцієнта запасу міцності для сільськогосподарських машин n = 1,5:

$$[\sigma] = \frac{\sigma т}{n} = \frac{245}{1.5} = 163 \text{ МПа}$$

У процесі пресування рулону натяжна рамка здійснює коливальний рух навколо нижньої осі повороту (шарніра О) на максимальний робочий кут θ = 35 ° відносно вертикальної осі Y. На кожну з бічних балок модернізованої рами діє плоска система сил із фіксованими лініями прикладання:

1. $F_{пас}$=2x$T_{паса}$. Сумарне горизонтальне зусилля від натягу п'яти пресувальних пасів, що діє на одну сторону рами. З урахуванням розподілу навантаження приймаємо $F_{пас}$ = 4000Н= 4 кН.
2. $F_{пружини}$. Зусилля опору пружинних тяг. Приймаємо $F_{пружини}$ = 1000 Н=1 кН.
3. $F_{циліндра}$. Робоче корисне зусилля штока гідроциліндра. Дана сила забезпечує статичну рівновагу та регулювання щільності пресування рулону.
4. R_x та R_y. Опорні реакції у нижньому шарнірі кріплення рамки.
5. G=mg=39,91x9,81=392 Н, маса половини рами.

Плечі дій сил (вертикальні координати ліній дії сил відносно центра шарніра О) становлять:

- До лінії дії зусилля гідроциліндра: y1 = 433 мм = 0,433 м;
- До лінії дії зусилля пружини: y2 = 433 + 197 = 630 мм = 0,630 м;
- До осі верхнього ролика (лінія сили натягу пасів): y3 = 433 + 197 + 360= = 990 мм = 0,990 м.

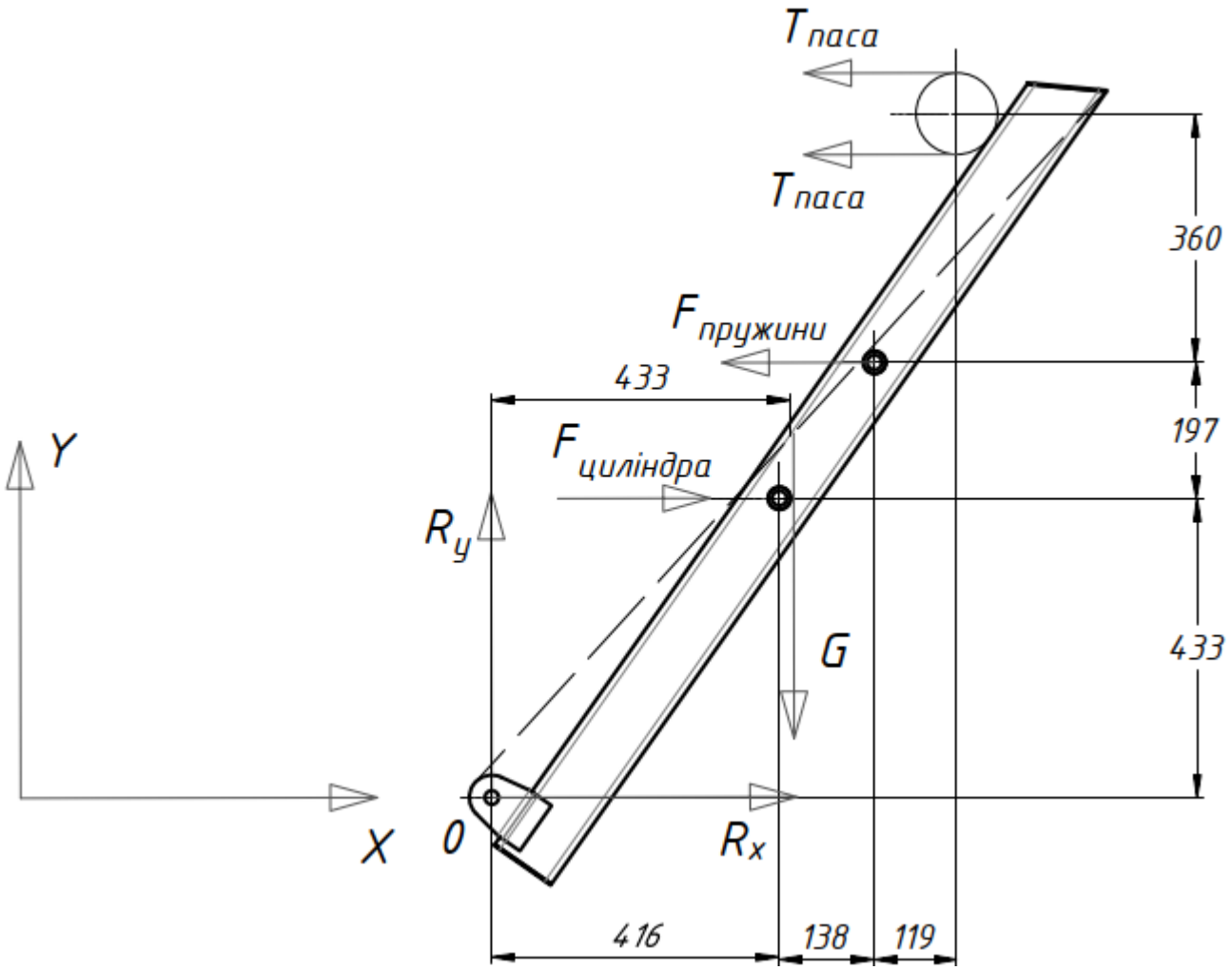


Рисунок 5.1. – Система сил, прикладена до рами.

Проведено статичний розрахунок та визначено навантаження від гідроциліндра. Для цього складено рівняння рівноваги моментів сил відносно нижньої опорної точки шарніра О :

$$\Sigma Mo = Fциліндра \times y1 - Fпружини \times y2 - Fпас \times y3 - Gx = 0, \qquad (4.1)$$

$$Fцил. = \frac{Fпруж \times y2 + Fпас \times y3 + Gx}{y1} = \frac{1000 \times 0.63 + 4000 \times 0.99 + 392 \times 0{,}43}{0.433}$$

$$= 11000 \text{ Н}$$

Для визначення опорних реакцій у шарнірі складено рівняння проєкцій сил на горизонтальну вісь координат:

$$\Sigma \mathrm{F}x = Rx + F\text{циліндра} - \mathrm{F}\text{пружини} - \mathrm{F}\text{пас} = 0, \quad (4.2)$$

$$Rx = -F\text{циліндра} + \mathrm{F}\text{пружини} + \mathrm{F}\text{пас} = -11000 + 1000 + 4000 = -6000 \text{ Н}$$

Знак «-» вказує на те, що реальний напрямок опорної реакції шарніра Rx направлений протилежно.

$$\Sigma \mathrm{Y} = Ry - G = 0, \quad (4.3)$$

$$G = Ry = 392 \text{ Н}$$

Враховуючи повну геометричну та силову симетрію модернізованої конструкції, розрахунок на міцність та жорсткість проводено для однієї найбільш навантаженої бічної балки рами, сприймаючої половину сумарного корисного навантаження.

Найбільш навантаженим перерізом несучої профільної труби є точка кріплення пальця базового гідроциліндра y1 = 0,433 м, де виникає максимальний згинальний момент.

Обчислено максимальний згинальний момент Мзг:

$$\text{Мзг} = \mathrm{F}\text{пас}(y3 - y1) + \mathrm{F}\text{пружини}(y2 - y1), \quad (4.4)$$

$$\text{Мзг} = 4000 \times (0.99 - 0.433) + 1000 \times (0.63 - 0.433) = 2425 \text{ Нм}$$

Визначаємо розрахункове нормальне напруження згину в стінках профільної труби, враховуючи що вварена втулка є елементом локального підсилення вузла і призначена для компенсації концентрації напружень від отвору 33 мм та запобігання зминання бічних стінок. Оскільки вона не змінює геометричні параметри профілю по всій довжині балки, загальний розрахунок на згин виконано за базовим перерізом профільної труби в запас міцності конструкції.

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{\text{Мзг}}{Wx} = \frac{2425}{30.5 \times 10^{-6}} = 79.5 \text{ МПа}, \quad (4.5)$$

Оскільки конструкція працює в умовах складного опору, враховуємо поздовжнє стискаюче напруження σст, яке виникає від дії вертикальної складової сили опорної

реакції шарніра Ry = 392 Н з урахуванням кута нахилу балки θ = 35 °. Площа поперечного перерізу профільної труби становить A=14,71 см^2 = 14,71x10^{-4} м^2.

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{Ry \times \cos(35°)}{A} = \frac{392 \times 0.8192}{14.71 \times 10^{-4}} = 0.22 \text{ МПа}, \quad (4.6)$$

Максимальне сумарне нормальне напруження в небезпечному перерізі балки становить:

$$\sigma_{\text{макс}} = \sigma_{\text{зг}} + \sigma_{\text{макс}} = 79{,}5 + 0{,}22 = 79{,}7 \text{ МПа}, \quad (4.7)$$

Проведено перевірку за умовою міцності:

$$\sigma_{\text{макс}} = 79{,}7 \text{ Мпа} \leq [\sigma] = 163{,}3 \text{ МПа}, \quad (4.8)$$

Коефіцієнт запасу міцності:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{макс}}} = \frac{163{,}3}{79{,}7} = 2, \quad (4.9)$$

Проведено розахунки на жорсткість конструкції.

Максимальний прогин f виникає на вільному (верхньому) кінці балки від дії сили натягу пасів Fпас = 4000 Н та зусилля пружини Fпружини = 1000 Н. Розрахунок проведено за методом початкових параметрів:

$$f_{\text{макс}} = \frac{\text{Fпас} \times \text{y}_3^3 + \text{Fпруж} \times y_2^3}{3 \times E \times Ix}, \quad (4.10)$$

Де:

- E = 2,1x10^{11} Па - модуль поздовжньої пружності для конструкційної сталі Ст3пс;
- Ix = 152,4 см^4 = 152,4 10^{-8} м^4 - момент інерції профільної труби;
- y3 = 0,99 м - робоча висота прикладання сили натягу пасів відносно шарніра;
- y2 = 0,63 м - висота прикладання зусилля пружини.

$$f_{\text{макс}} = \frac{4000 \times 0{,}99^3 + 1000 \times 0{,}63^3}{3 \times 2{,}1 \times 10^{11} \times 152{,}4 \times 10^{-8}} = 4{,}3 \text{ мм}$$

Визначено допустимий прогин:

$$[f] = \frac{1400}{200} = 7 \text{ мм}, \quad (4.11)$$

Перевірка:

$$f_{\text{макс}} = 4{,}3 \text{ мм} \leq [f] = 7 \text{ мм}, \quad (4.12)$$

Проведено розрахунки на втомну міцність. Розрахунок проводиться за коефіцієнтом запасу втомної міцності при асиметричному циклі навантаження:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{\sigma_a}{\varepsilon_\sigma \times K_\sigma} + \varphi_\sigma \times \sigma_m} \geq [n], \quad (4.13)$$

Де:

- σ_{-1} = 180 МПа - межа витривалості сталі Ст3пс при симетричному циклі згину;
- $\sigma_{макс}$ = 79,73 МПа - максимальне сумарне напруження в перерізі;
- Оскільки при розвантаженні камери пресування напруження падають майже до нуля, приймаємо віднульовий (відпульсовий) цикл, де мінімальне напруження $\sigma_{мін}$=10 МПа.

Визначено амплітуду σ_a та середнє напруження циклу σ_m:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{макс}} - \sigma_{\text{мін}}}{2} = \frac{79{,}7 - 10}{2} = 34{,}9 \text{ МПа}, \quad (4.14)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{макс}} + \sigma_{\text{мін}}}{2} = \frac{79{,}7 + 10}{2} = 44.87 \text{ МПа}, \quad (4.15)$$

Коєфіцієнти для конструкційних вуглецевих сталей та умов зварного профілю:

- φ_σ = 0,1 - коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу для сталі Ст3пс;
- ε_σ = 0,85 — масштабний коефіцієнт;
- K_σ = 1,6 — ефективний коефіцієнт концентрації напружень (враховує наявність отвору та зварного шва втулки).

$$n_\sigma = \frac{180}{\frac{34{,}87}{0{,}85 \times 1{,}6} + 0{,}1 \times 44{,}87} = 6 \geq [n] = 1{,}5$$

Висновки

1. Обґрунтовано актуальність. Аналіз роботи прес-підбирача ПРП-1.6 підтвердив, що низька жорсткість базового швелера натяжної рамки є причиною її пружних перекосів під навантаженням. Це призводить до постійного сходження пресувальних пасів, їх прискореного зносу та виклику аварійних простоїв агрегату.
2. Запропоновано конструктивне рішення. Для усунення деформацій та збереження міжвісної паралельності роликів розроблено просторову зварну конструкцію натяжної рами. Як основний матеріал обрано замкнений прямокутний профіль, що суттєво підвищує опір згину та крученню за мінімальної металомісткості.
3. Виконано силовий аналіз. Складено рівняння статичної рівноваги моментів сил відносно нижнього опорного шарніра, на основі яких визначено необхідне робоче зусилля на штоку модернізованого гідроциліндра та обчислено опорні реакції у вузлах кріплення балки.
4. Підтверджено міцність конструкції. Розрахунком на складний опір доведено, що сумарні нормальні напруження в найбільш навантаженому перерізі (зона кріплення пальця гідроциліндра) не перевищують допустимих значень для обраної марки сталі, забезпечуючи необхідний коефіцієнт запасу міцності.
5. Перевірено деформаційну стійкість. За методом початкових параметрів проведено розрахунок балки на жорсткість. Отримане значення максимального прогину консолі повністю вкладається в нормативні інженерні допуски, що гарантує стабільне положення пасового контуру.
6. Доведено втомну довговічність. З урахуванням пульсуючого характеру навантаження під час формування рулону виконано перевірку вузла на

витривалість при асиметричному циклі. Розрахунковий запас втомної міцності підтвердив надійність конструкції та захищеність зони локального підсилення (ввареної втулки) від появи тріщин.

6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Впровадження модернізованої просторової натяжної рами з профільної труби спрямоване на підвищення експлуатаційної надійності рулонного прес-підбирача ПРП-1.6. Головним джерелом економічного ефекту є ліквідація технологічних простоїв агрегату в пікові періоди заготівлі кормів, зниження витрат на поточні ремонти та збільшення міжремонтного ресурсу пресувальних пасів.

Вихідні дані для розрахунки:

- Площа поля: S = 2 га;
- Середня врожайність сіна: q=4,5 т/га;
- Річний обсяг заготівлі грубих кормів: V =Sq=2x4.5= 9 т;
- Продуктивність прес-підбирача ПРП-1.6: Wг = 5,5 т/год;
- Тривалість сезону кормозаготівлі: $T_{сез}$ = 15 днів;
- Вартість втрат від несвоєчасного збирання $C_{втрат}$ = 2500 грн/год.

Витрати на виготовлення та монтаж модернізованої натяжної рами включають вартість матеріалів, зварювальних матеріалів та оплату праці.

Таблиця 5.1.-Калькуляція капітальних витрат на модернізацію рами

Найменування	Кількість	Вартість за од., грн	Сума, грн
Проф.труба100х60х5мм (Ст3пс)	7132 мм	469	3,344
Труба безшовна 32х6 мм	250 мм	80	20
Дріт зварювальний СВ-08Г2С та захисний газ	1 компл.	90	900
Оплата праці слюсаря-зварювальника	12 люд.-год	150	1800
Капітальні інвестиції	-	-	6065

6.1. Розрахунок експлуатаційного ефекту від підвищення надійності. Зниження витрат на поточні ремонти та технічне обслуговування ΔСрем.

Незадовільна жорсткість заводської рами відбувався перекіс натяжних роликів. Це спричиняло регулярне осьове сходження пасів, їхнє стирання об гострі краї боковин та розрив.

- Витрати на ремонти базової конструкції (середньорічні витрати на заміну або зшивання пасів, вирівнювання деформованої рами): Срем1 = 3500 грн/рік.
- Витрати після впровадження модернізованої жорсткої рами з розкосом (паси працюють строго в номінальному режимі, знос мінімальний): Срем2 = 200 грн/рік (витрати лише на планове змащування шарнірів втулок).

Річна економія на ремонтному фонді становить:

$$\Delta C_{рем} = C_{рем1} - C_{рем2} = 3500 - 200 = 3300 \frac{грн}{рік}, \quad (5.1)$$

Попередження збитків від технологічних простоїв та втрати якості кормів $\Delta C_{збит}$

Для малих площ головним ризиком є раптова відмова техніки під час короткого вікна сприятливої погоди. При поломці старої рами тривалість простою агрегату з урахуванням пошуку запчастин або зварювальних робіт у розпал сезону призводила до затримки збирання маси. Перестій або намокання скошеної трави знижує її поживність, викликаючи втрату до 10% сухої речовини врожаю.

- Потенційні втрати кормів при базовій надійності за рахунок простоїв:

$$\Delta V_{\text{втрат}} = V \times 0{,}1 = 9 \times 0{,}1 = 0{,}9 \text{ т} \quad (5.2)$$

- Грошовий еквівалент попереджених збитків за рахунок безвідмовної роботи модернізованого вузла:

$$\Delta \text{С}_{\text{збит}} = \Delta V_{\text{втрат}} \times \text{С}_{\text{втрат}} = 0{,}9 \times 2500 = 2250 \text{ грн/рік}, \quad (5.3)$$

Загальний економічний ефект та термін окупності проекту.

Сумарний річний економічний ефект Еріч від модернізації вузла натяжної рами складається зі зниження витрат на ремонти та ліквідації технологічних ризиків:

$$\text{Е}_{\text{річ}} = \Delta \text{С}_{\text{рем}} + \Delta \text{С}_{\text{збит}} = 3300 + 2250 = 5550 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}, \quad (5.4)$$

Термін окупності капітальних вкладень у модернізацію:

$$\text{Т}_{\text{ок}} = \frac{\text{К}_{\text{м}}}{\text{Е}_{\text{річ}}} = \frac{6065}{5550} = 1{,}09 \text{ року}, \quad (5.5)$$

Висновки

Проведені економічні розрахунки підтверджують доцільність модернізації натяжної рами прес-підбирача ПРП-1.6 навіть для умов невеликого фермерського господарства з площею 2 га. За рахунок ліквідації аварійних пошкоджень пресувального пасового контуру та недопущення псування кормів через простої техніки досягається стабільний річний ефект у розмірі

5550 грн. Капітальні витрати на модернізацію металоконструкції рами 6065 грн повністю окупаються за 1,09 року, що вказує на високу надійність та експлуатаційну спроможність запропонованого проекту.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Експлуатація рулонного прес-підбирача ПРП-1,6 пов’язана з роботою рухомих механізмів, пасових передач та гідравлічних систем під тиском. Недотримання правил безпеки може призвести до важких травм.

- Загальні вимоги безпеки
- До роботи допускаються особи, що досягли 18 років, пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктажі на робочому місці.
- Одяг. Працювати слід у щільно прилягаючому спецодязі, без звисаючих кінців (полів, зав’язок), які можуть бути захоплені рухомими частинами (пасами пресувальної камери).
- Агрегатування прес-підбирача дозволяється лише з тракторами класу 1,4), що обладнані справною гідросистемою та світловою сигналізацією.
- Безпека під час підготовки та налаштування
- Карданний вал. Перевірте наявність та цілісність захисного кожуха карданної передачі. Робота без захисту суворо заборонена.
- Гідросистема. Перевірте герметичність з’єднань. Пошук витоку масла рукою заборонений (високий тиск може пробити шкіру) — використовуйте шматок картону.
- Заправка шпагату. Протягування шпагату в голки обмотувального апарату проводиться тільки при повністю зупиненому ВВП (валу відбору потужності) трактора та вимкненому двигуні.
- Безпека під час роботи в полі
- Заборона присутності. Категорично забороняється знаходження сторонніх осіб на рамі прес-підбирача або між трактором і машиною під час руху.

- Усунення забивань. Якщо підбирач або пресувальна камера забилися масою, очищення проводиться лише після зупинки трактора, вимкнення ВВП та повної зупинки всіх робочих органів.
- Вивантаження рулону. При виштовхуванні готового рулону з камери необхідно переконатися, що позаду машини немає людей, оскільки рулон має велику масу і може продовжувати рух по схилу.
- Сигналізація. Водій повинен подати звуковий сигнал перед початком руху або ввімкненням ВВП.

• Технічне обслуговування та ремонт

- Фіксація камери. При проведенні робіт всередині відкритої пресувальної камери (наприклад, заміна пасів), вона обов’язково має бути зафіксована спеціальними механічними стопорами (упорами) гідроциліндрів, щоб запобігти самовільному опусканню клапана.
- Протипожежна безпека. Оскільки машина працює з сухими рослинними рештками, вона повинна бути укомплектована справним вогнегасником (порошковим або вуглекислотним), лопатою та бачком з водою. Регулярно очищуйте вузли тертя від набивання сухої трави.

• Завершення робіт та зберігання

- Зняття напруги. Після роботи послабте натяг пресувальних пасів для запобігання їх деформації та розриву.
- Очищення. Використовуйте спеціальні гаки або щітки для видалення залишків соломи/сіна. Очищення руками працюючої машини — головна причина травматизму.
- Транспортування. При переїздах по дорогах загального користування прес-підбирач має бути переведений у транспортне положення, а дуги підбирача підняті та зафіксовані.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

2. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Каравела, 2014. 551 с.

3. Войтюк Д. Г. та ін. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Агроосвіта, 2015. 678 с.

4. Царенко О. М., Войтюк Д. Г., Швайко В. М. та ін. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / за ред. С. С. Яцуна. Київ : Мета, 2003. 448 с.

5. Кошук О. Б., Лузан П. Г., Мося І. А., Герлянд Т. М., Романов Л. А. Сільськогосподарські і меліоративні машини : навч. посіб. Київ : ІПТО НАПН України, 2015. 291 с.

6. Сироватко К. М., Зотько М. О. Технологія кормів та кормових добавок : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2020. 263 с.

7. Гевко Б. М. Охорона праці при експлуатації мобільних тракторних агрегатів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2020. 208 с.

8. Ачаковський О. І., Пастухов В. О. Інженерні розрахунки в SolidWorks: Simulation та Motion : навч. посіб. Харків : ХНТУСГ, 2018. 192 с.

9. Ковальчук С. О. Математичне моделювання процесу формування рулону в камері прес-підбирача ПРП-1.6. Сільськогосподарські машини. 2016. Вип. 34. С. 78–85.

10. Організація логістики при використанні рулонної технології заготівлі кормів / В. І. Кравчук та ін. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2019. 112 с.

11. Методика визначення економічної ефективності використання в сільському господарстві результатів науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт,

нової техніки, технологій та винаходів. Київ : НДІ «Украгропромпродуктивність», 2007. 128 с.

12. Швайка Л. А. Методика визначення економічної ефективності модернізації та впровадження нової техніки : навч. посіб. Київ : Знання, 2018. 154 с.

13. Прес-підбирач рулонний ПРП-1,6 : технічний опис та інструкція з експлуатації ПРП-1.6.00.000 ТО. Фрунзе : Фрунзенський завод сільськогосподарського машинобудування, 1988. 76 с.

14. Rehr M. Untersuchung der Verdichtungsvorgänge bei Halmgut in einer Ballenpresse. Braunschweig : VDI-Verlag, 1982. 142 S.

15. Про охорону праці : Закон України від 14 жовт. 1992 р. № 2694-XII.

16. ДСТУ 4686:2006. Сінаж. Технічні умови.

17. ДСТУ 4687:2006. Сіно. Технічні умови.

18. ДСТУ 7323:2013. Машини для збирання та заготівлі сіна. Методи випробувань.

19. ДСТУ 8393:2015. Трактори сільськогосподарські. Випробування надійності.

20. ДСТУ ISO 4254-1:2013. Сільськогосподарські машини. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги.

21. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування.

22. ГОСТ 2.105-95. Єдина система конструкторської документації. Загальні вимоги до текстових документів.

23. ГОСТ 28708-2001. Засоби механізації заготівлі кормів. Методи випробувань.

24. Patent US3981391A. Round Baler.

25. Patent US6094900A. Round Baler Apparatus.

26. Patent US11032974B2. Round Baler and Bale Forming Apparatus.

27. John Deere Round Balers. Operator’s Manual.

28. New Holland Roll-Belt Round Baler. Operator’s Manual.

29. CLAAS ROLLANT. Operator’s Manual.

30.Фізіологічні і господарські основи заготівлі сіна [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://buklib.net/books/34768/

31.Заготівля сіна [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://agro-semena.com.ua/uk/porady-naukovciv/zagotivlya-sina.html

32.Потельга С., Смоляр В. Актуальні технічні та технологічні аспекти заготівлі кормів [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://agroelita.info/aktualni-tehnichni-ta-tehnolohichni-aspekty-zahotivli-kormiv/

33.Заготівля сінажу в рулонах [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.kuhn.ua

34.Прес-підбирачі: класифікація та призначення [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.kuhn.ua

35.Технології заготівлі кормів. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого [Електронний ресурс].

36.Каталог техніки CLAAS для кормозаготівлі.

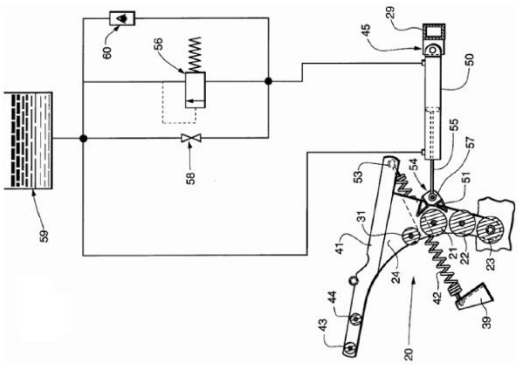
37.Каталог техніки John Deere для заготівлі кормів.

38.Каталог техніки New Holland Agriculture для кормозаготівлі.

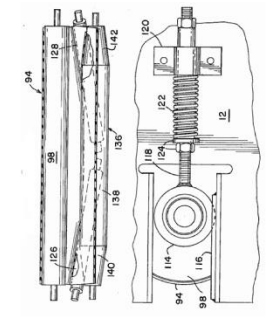
39.Вісник аграрної науки.

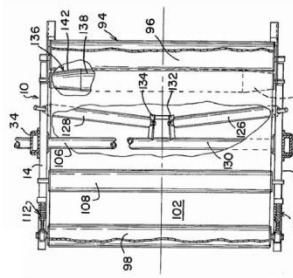
40.Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК.

ДОДАТКИ

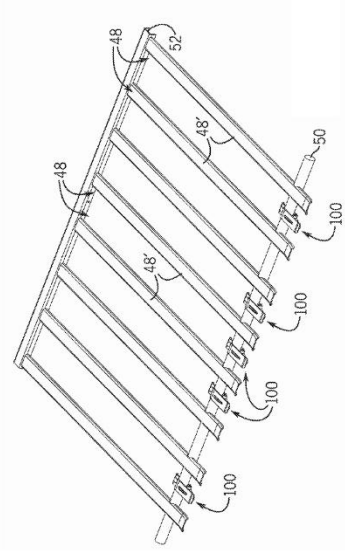


Патент US6094900A – Схема системи контролю натягу пасів: 20 – каретка; 21, 22, 23 – пресувальні ролики; 41 – важіль; 50 – гідроциліндр; 55 – шток гідроциліндра; 29 – кріплення гідроциліндра; 39 – пружинний вузол; 42 – натяжна пружина; 31 – інерційний ролик; 43, 44 – направляючі ролики; 53 – точка шарнірного з'єднання; 54 – кулачок; 56 – гідравлічний акумулятор з пружиною; 58 – запірний клапан; 59 – гідравлічний насос; 60 – гідравлічний бак.



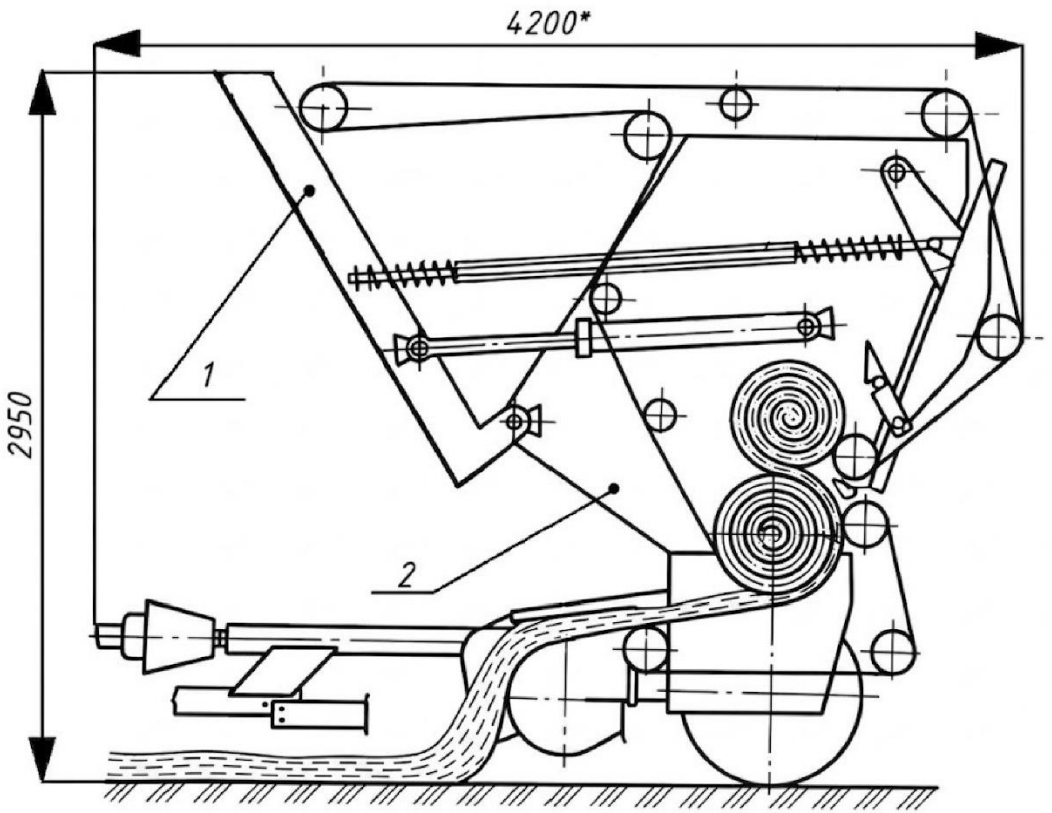


Патент US3981391A – Удосконалений вузол центрування нижньої гілки паса: 94 – Нижня стрічка; 98 – задній натяжний ролик; 96 – передній приводний ролик; 102 – нижня зворотна гілка стрічки; 100 – верхня робоча гілка стрічки; 126, 128 – направляючі ролики; 136 – компенсаційний ролик; 138 – центральна циліндрична частина компенсаційного ролика; 140, 142 – кінцеві конічні частини компенсаційного ролика; 130 – поперечна балка; 132, 134 – підшипникові кронштейни; 114 – підшипниковий вузол натяжного ролика; 116 – поздовжній паз у боковій рамі; 118 – різьбовий шток; 120 – кронштейн кріплення; 122 – натяжна пружина; 124 – гайка з шайбою; 12 – бокова рама; 106, 108 – опорні ролики верхньої гілки; 110, 112 – пружинні вузли натягу; 34, 10 Елементи верхньої конструкції



Патент US11032974B2 – Удосконалена рамка направляюча з направляючими пасів. 100 – зовнішній направляч пасу; 48 – направляюча планка; 48' – модифікована направляюча планка; 50 – поперечна балка; 52 – Кріпильний елемент.

| | | |



1. *Розміри для довідки.
2. Невказані граничні відхили по $\pm\frac{IT15}{2}$.

Позначення	Найменування	К-ть	Примітки
	Складальні одиниці		
А3 1. 52ДП.22163.010 СК	Рама натяжна	1	
	Інші вироби		
2	Прес підбирач ПРП–1,6	1	

52ДП.22163.000 СК

Принципова схема роботи модернізованого агрегату

Літ. | Маса | Масштаб: -

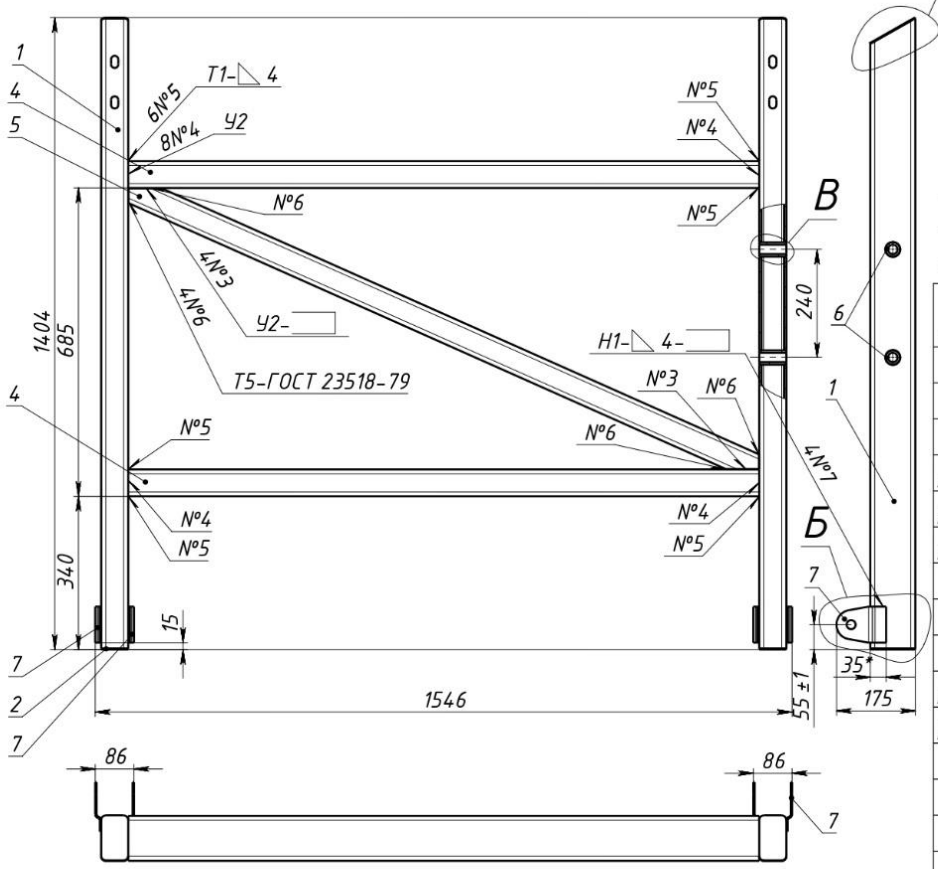
Аркуш 1 | Аркушів 1

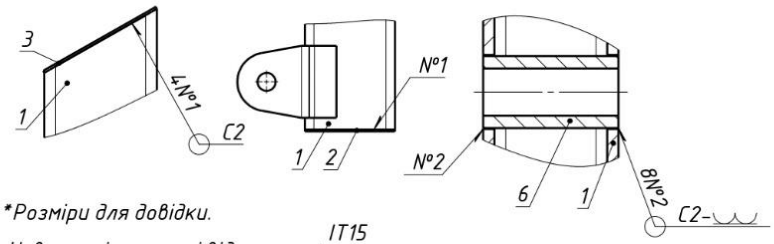
ДДАЕУ

Розроб. Махнюк | Перев. Кобець | Т.контр. | Н.контр. Лепеть | Затв. Тесляк

52ДП.22163.000 СК | Копіював | Формат А1

Інв.№ подл. | Підпис та дата | Взам. інв.№ | Інв.№ дубл. | Підпис та дата | Довід.№ | Перв. застосув.





1. *Розміри для довідки.
2. Невказані граничні відхили по $\pm\frac{IT15}{2}$.
3. Зварні шви по ГОСТу 14771-76. Проволка СВ-08Г2С ГОСТ 2246-70. Допускається ручне електродугове зварювання ГОСТ 5264-80.
4. Шорсткість оброблених поверхонь деталей БК Rz160.

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				Деталі		
А4		1	52ДП.22163.011	Балка	2	
А4		2	52ДП.22163.012	Накладка	2	
А4		3	52ДП.22163.013	Накладка	2	
		4	52ДП.22163.014	Поперечина L=1400 мм	2	m=15.74 кг
				Труба 100х60х5 ГОСТ 8639-82		
				Ст3пс ГОСТ 14637-89		
А4		5	52ДП.22163.015	Розкос	1	
А4		6	52ДП.22163.016	Втулка	4	
				Інші вироби		
		7		Провушина	4	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Махнюк		5/31/2026
Перев.		Кобець		
Т.контр.				
Н.контр.		Лепеть		
Утв.		Теслюк		

52ДП.22163.010 СК

Рама натяжна

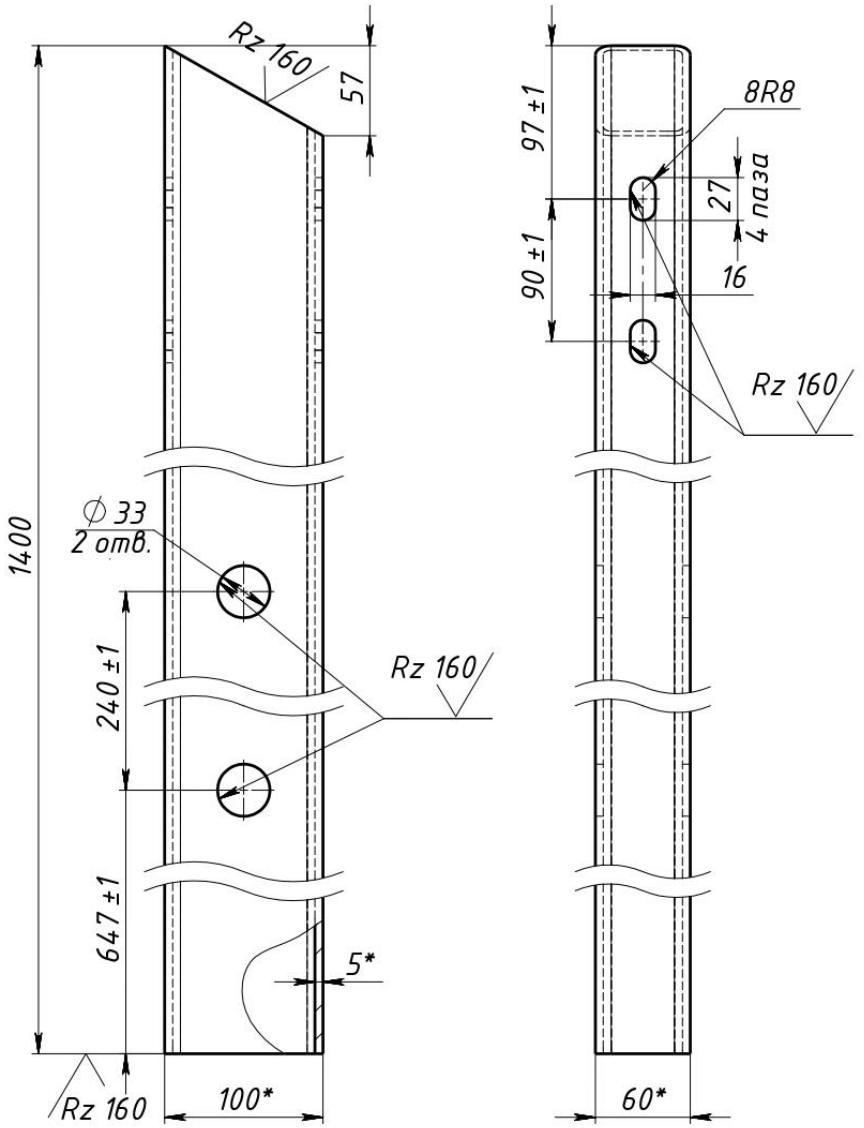
Складальне креслення

Літ.	Маса	Масштаб
	79.82	1:10
Аркуш	Аркушів 1	

ДДАЕУ

Підпис та дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підпис та дата | Інв. № ориг.

52ДП.22163.011



1. *Розміри для довідки.
2. Невказані граничні відхилення розмірів: отворів H16, інших $\pm\frac{IT16}{2}$.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Махнюк		5/31/2026
Перев.		Кобець		
Т.контр.				
Нач. КБ				
Н.контр.		Лепеть		
Утв.		Теслюк		

52ДП.22163.011

Балка

Літ.	Маса	Масштаб
	15.23	1:4
Аркуш	Аркушів 1	

Труба $\frac{100x60x5\ ГОСТ\ 8639-82}{Ст3пс\ ГОСТ\ 535-88}$

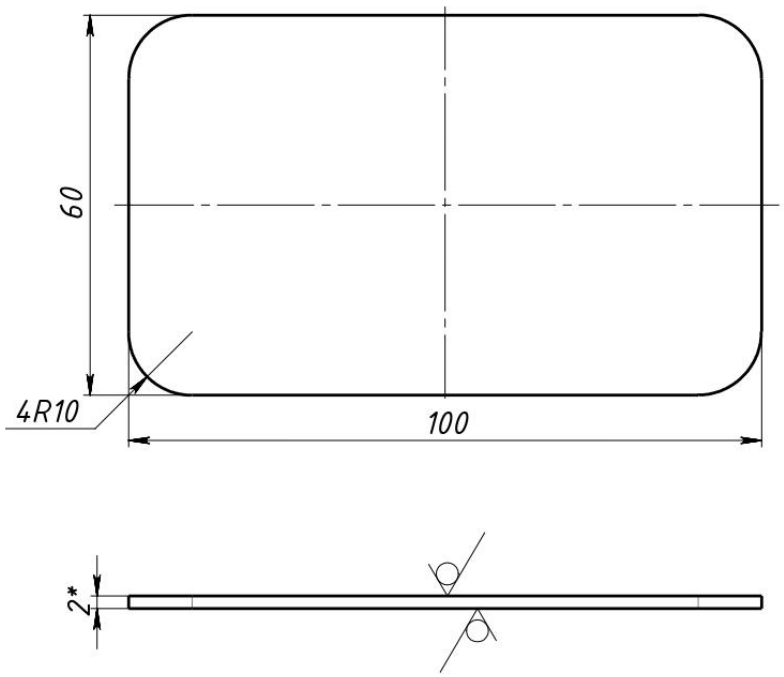
ДДАЕУ

Інв. № оригін. | Підпис та дата | Взам. інв. № | Інв. № дубл. | Підпис та дата | Довід. № | Перв. застосув.

52ДП.22163.011 Копіював Формат А4

52ДП.22163.012

Rz 160



1. *Розміри для довідки.
2. Невказані граничні відхилення розмірів: валів h16, інших $\pm\frac{IT16}{2}$.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Махнюк		5/31/2026
Перев.		Кобець		
Т.контр.				
Нач. КБ				
Н.контр.		Лепеть		
Утв.		Теслюк		

52ДП.22163.012

Накладка

Літ.	Маса	Масштаб
	0.09	1:1
Аркуш	Аркушів 1	

Лист Б-ПН-2 ГОСТ19903-74 / СтЗпс ГОСТ 14637-89

ДДАЕУ

Перв. застосув.

Довід. №

Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

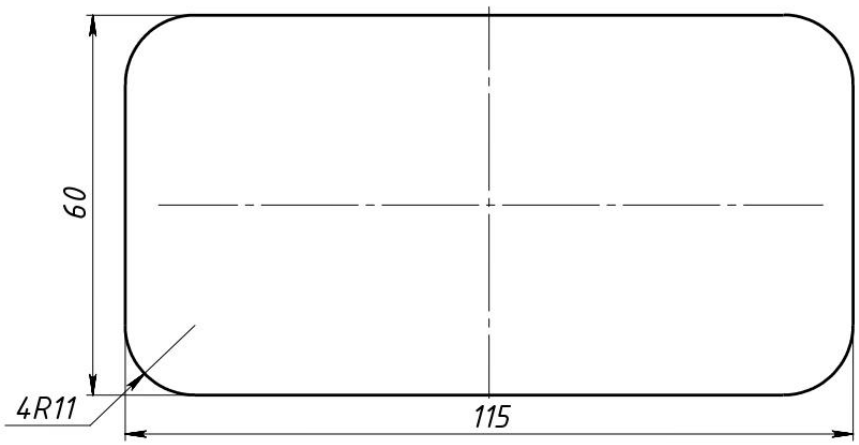
Підпис та дата

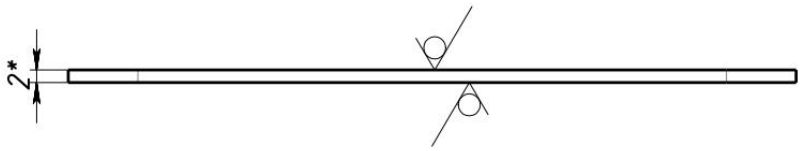
Інв. № оригін.

52ДП.22163.012 Копіював Формат А4

52ДП.22163.013

Rz 160



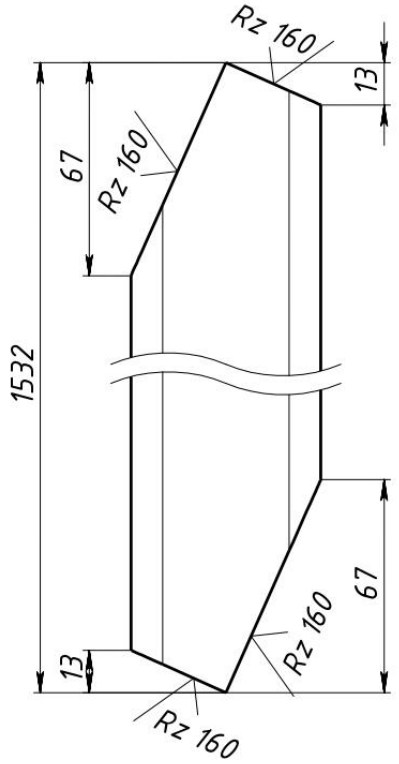


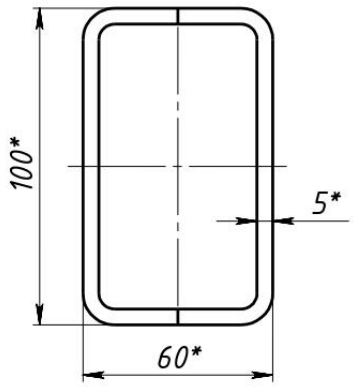
1. *Розміри для довідки.
2. Невказані граничні відхилення розмірів: валів h16, інших $\pm\frac{IT16}{2}$.

					52ДП.22163.013		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Накладка	Літ.	Маса / Масштаб
Розроб.		Махнюк		5/31/2026			0.11 / 1:1
Перев.		Кобець				Аркуш	Аркушів 1
Т.контр.							
Нач. КБ							
Н.контр.		Лепеть			Лист Б-ПН-2 ГОСТ19903-74 / Ст3пс ГОСТ 14637-89	ДДАЕУ	
Утв.		Теслюк					

Перв. застосув. | Довід. № | Підпис та дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підпис та дата | Інв. № ориг.

52ДП.22163.015



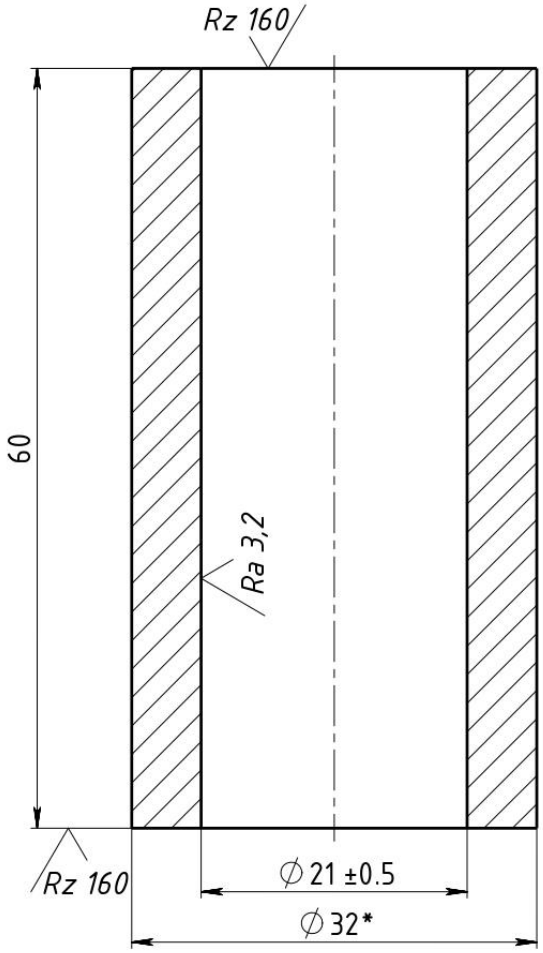


1. *Розміри для довідки.
2. Невказані граничні відхилення розмірів: отворів H16, інших $\pm\frac{IT16}{2}$.

					52ДП.22163.015	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		
Розроб.		Махнюк		5/31/2026	Розкос	Літ. / Маса 16.55 / Масштаб 1:2
Перев.		Кобець				
Т.контр.						Аркуш / Аркушів 1
Нач. КБ						
Н.контр.		Лепеть			Труба 100х60х5 ГОСТ 8639-82 / Ст3пс ГОСТ 535-88	ДДАЕУ
Утв.		Теслюк				

Перв. застосув. | Довід. № | Підпис та дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підпис та дата | Інв. № ориг.

52ДП.22163.016



1. *Розміри для довідки.
2. Невказані граничні відхилення розмірів: отворів H14, інших $\pm\frac{IT14}{2}$.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Махнюк		5/31/2026
Перев.		Кобець		
Т.контр.				
Нач. КБ				
Н.контр.		Лепеть		
Утв.		Теслюк		

52ДП.22163.016

Втулка

Літ.	Маса	Масштаб
	0.22	2:1
Аркуш	Аркушів 1	

Труба 32х6 ДСТУ EN 10219 / Ст3пс ГОСТ 14637-89

ДДАЕУ

Перв. застосув. | Довід. № | Підпис та дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підпис та дата | Інв. № ориг.

52ДП.22163.016 Копіював Формат А4

№	Показник	Значення	Одиниця виміру
1	Обсяг заготівлі	9	т
2	Продуктивність агрегату	5,5	т/год
3	Капіталовкладення	6065	грн
4	Витрати на ТО та ремонт до модернізації	3500	грн/рік
5	Витрати на ТО та ремонт після модернізації	200	грн/рік
6	Річна економія на ремонтному фонді	3300	грн
7	Попереджені збитки від простоїв та втрат корму	2250	грн
8	Загальний річний економічний ефект	5550	грн
9	Термін окупності капіталовкладень	1,09	років

Інв.№ дубл. | Підпис та дата | Взам. інв.№ | Інв.№ дубл. | Підпис та дата

Перв. застосув.

Довід.№