

ВСТУП

В даний час гостро стоїть питання про кормову базу для великої рогатої худоби (ВРХ). Найважливішим кормом для ВРХ у період його стійлового утримання є грубий корм, у тому числі сіно.

Заготівля сіна високої якості в необхідному обсязі можлива на основі застосування прогресивних технологій та машин.

Велику частку сіна в сільськогосподарських підприємствах заготовлюють у пресованому вигляді, в тому числі в рулонах, з використанням різних машин, що серійно випускаються. Застосування деяких з них при виконанні технологічних операцій з навантаження рулонів сіна, їх транспортування та розвантаження, веде до високого рівня витрат праці, грошових коштів та витрат палива.

Вибір технології збирання сіна, спресованого в рулони, та машин для її реалізації слід здійснювати на основі комплексного критерію ефективності використання машин на вантажно-розвантажувальних та транспортних операціях.

У зв'язку з цим, вирішення завдання щодо вдосконалення технології та технічних засобів при збиранні рулонів сіна, спрямованої на зниження матеріальних та трудових витрат, втрат поживних речовин, зменшення кількості необхідних машин – актуальне і має велике значення для -сільськогосподарського виробництва.

Однак в опублікованих роботах дається оцінка ефективності -використання технічних систем, що виконують окремі операції прибирання з поля рулонів і тюків із сіна або соломи, і не розглядаються такі технічні засоби, які здатні виконувати і навантаження, і транспортування, і вивантаження спресованих сіносомомистих матеріалів без використання додаткових машин.

В Україні технологія заготівлі сіна спреїсованого в рулоїни залишається найбільш розповсюдженою у зв'язку з високою продуктивністю машин і

можливістю максимально механізувати технологічний процес. Ця технологія є перспективною, тому що її використовують не тільки на заготівлі сіна та соломи, а й сінажу та силосу з упаковкою спеціальною плівкою.

В даний час, при великій різноманітності вітчизняних машин по заготівлі, навантаженні, транспортуванні та розвантаженню грубого корму, відсутні чітко орієнтовані напівпрямки по високоефективному їх використанню. Не досить повно обґрунтоване застосування тих чи інших технічних засобів на транспортування грубого корму в рулонах.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Технології збирання сіна

В даний час кормовиробництво залишається однією з основних відгалузей сільського господарства. З кормовиробництвом невід'ємно пов'язане тваринництво, як у плані необхідної кількості заготівель корму, так і його якості. При цьому переважну кількість від загальної кількості виробленого м'яса (38-40%) і надоїв молока (95-98%) отримують від великої рогатої худоби.

Для великої рогатої худоби, серед безлічі видів кормів, що заготовлюються, найважливішим є грубий корм, істотна частина заготовок якого припадає на трави різних культур. Кормова база трав'яних кормів, що заготовлюються, підрозділяється на багаторічні трави, однорічні трави, природні сіножаті, а також сіно з культурних пасовищ і сіножатей.

Загальне поголів'я ВРХ з початку 2020-2024-х років мало дуже мінливий характер внаслідок занепаду тваринницьких підприємств. До 2020 року виробництво тваринницької продукції поступово збільшувалося, але до кінця 2023 року стало втрачати позиції через запроваджені міжнародні санкції. Так, наприклад, у до 2024 року поголів'я ВРХ знизилося більше ніж удвічі по відношенню до 2022 року, але все ж таки пізніше поступово почало збільшуватися. При цьому виробництво молока постраждало меншим чином і до 2025 року отримало великий приріст.

Раціон харчування великої рогатої худоби складається з соковитої зелені, сіна, силосу і коренеплодів, а також комбікормів і концентратів [1]. У свою чергу, використання комбікормів та гранул сприяє належному розподілу залишків та деяких відходів інших кормових та харчових

виробництв, наприклад, використання сировини, що не пройшов контроль якості, як на вигляд, так і з ряду інших причин [2].

У таких кормах, як гранули і комбікорми поєднуються безліч речовин і мікроелементів, що ефективно впливають на зростання тварин, на відміну від використання окремих видів зернових кормів [3]. Однак, незважаючи на використання вторинної сировини в цих кормах, його наявність у складі

припадає лише до 35%, основна ж частина являє собою зернова сировина, при цьому якість продукту в кінцевому підсумку повинна задовольнити необхідним вимогам ДСТУ 9268-2015 [4].

Що стосується грубих кормів з трав, за даними спостереженнями можна судити про те, що зростання продукції тваринництва потребує додаткових - ресурсів кормовиробництва [5], йдеться про мало затребуваних і потенційно актуальних культурах, таких як сорго, а саме про сорти культур багатих вологою та корисними речовинами, придатними для сінозаготівки в несприятливих умовах жаркого клімату [6].

Особливе місце серед культур, що використовуються для заготівлі корму великої рогатої худоби, займає суданська трава. При цьому корм може бути у вигляді сіна, силосу та сінажу [6]. При виробництві цих видів корму з суданської трави виконуються різні технологічні операції (табл. 1.1).

Прибирання суданської трави з усіх операцій з її обробітку є найбільш енерговитратним.

Спочатку особливу увагу на збиранні суданської трави приділяють - дотримання термінів проведення операцій скошування на сіно, зелений корм або силос, а також обмолоту на насіння. Так збирання суданської трави на сіно найкраще припадає на період кінця виходу в трубку або початку імітування мітлиць [10], коли висота стебла досягає 50-60 см, при цьому на більш ранне скошування сприяють повторному укусу, а пізніше скошування тягне за собою одержання грубого корму. Що стосується силосу, його збирання проходить у період молочної стиглості, а збирання на насіння проводять у період, коли основна частина мітлиць вже дозріли.

Збирання суданської трави на насіння невід'ємно пов'язане з конкретними технологіями [11]:

1. Роздільна збирання, при якій масу скошують, використовуючи жниварки типу ЖВН-3,6; КПС-5Г або інших моделей, забезпечуючи зріз у 35-45 см. Після закінчення 3-4 днів проводиться обмолот за допомогою зернозбиральних комбайнів;

2. Пряме комбайнування зернозбиральними комбайнами;
3. Скошування мітелок на високому зрізі з наступним збором у причіп за допомогою таких машин, як СМ-2,6 та наступним обмолотом на стаціонарних молотильних пристроях;
4. Очісування мітелок без скошування, з використанням очесних жниварок або застосування соргозбирального комбайна з інерційно- очесним методом обмолоту [12].

На території області переважна кількість посівів суданської трави припадає на заготівлю сіна в рулонах. На відміну від розсипного сіна, пресоване сіно в тюках або рулонах менш схильне до втрат поживних речовин, де різниця становить 25-50% [18]. Більша частина спресованого сіна йде на корм для ВРХ у стійловий період, тривалість якого може перевищувати 5 місяців [10].

Технологія заготівлі сіна в рулонах поділяється на безліч етапів зі своїми технологічними процесами. Необхідно дотримуватись дуже уважного підходу до кожного з етапів. Якість і швидкість прибирання зеленої маси, пресування та транспортування готової продукції безпосередньо залежать від умов, чи то географічних, чи кліматичних, а також правильного комплектування складу машинно-тракторних агрегатів [16, 17].

Скошування трав у своїй може здійснюватися як простим методом, тобто. скошування стебел без додаткових операцій, і скошування з плющенням культури чи кондиціонуванням, і навіть з об'єднанням цих двох операцій [47]. Косарки, будучи обладнаними механізмом плющення трав, дозволяють забезпечити більш швидке сушіння за рахунок більшої втрати вологи після сплющування стебла [34]. Кондиціонування, в свою чергу, за допомогою рифлених вальців здійснюється проштовхування скошеної трав'яної маси, що розщеплюються стебла, що теж дозволяє волозі швидше випаровуватися [17].

Зворушення скошеної суданки прийнято проводити частіше, ніж у випадку з луговими травами, це також пов'язане з тривалішим часом сушіння.

За супутніх сприятливих погодних умов зворушення проводять протягом 3 днів приблизно з періодом 2-3 години. Процес ворошіння може затягнутися, якщо погода зіпсується, у такому разі сіно можуть почати пресувати до того, як її вологість впаде до прийняттого рівня 17-18%. На цьому етапі технологія заготівлі сіна знову поділяється [24].

Звертаючи увагу на вище згадані умови, виходить, що процес пресування сіна в рулони може протікати в трьох напрямках, а саме:

- підбір і пресування в рулони при вологості сіна 17-18% з подальшою можливістю упаковки рулонів в захисну плівку;

- підбір та пресування в рулони при вологості сіна 20-35% з внесенням рідких консервантів по ходу пресування та подальшим пакуванням рулонів у захисну плівку;

- підбір і пресування в рулони при вологості сіна 20-35% з подальшим досушуванням рулонів до вологості в 17-18% за допомогою обладнання з активним вентиляванням.

У нормальних умовах, при вологості сіна, що підбирається, в 20-22%, при щільності пресування в межах 140-190 кг/м³, рулони можна залишити досушуватися в полі до прийнятних значень вологості сіна в 17-18%. Потрібно відзначити, якщо спресований рулон готується до процесу досушування - активним вентиляванням, то щільність пресування не повинна перевищувати 120 кг/м³, оскільки це безпосередньо вплине на рівномірність сушіння.

Наразі сформовані рулони сіна готові до транспортування.

Збереження та кількість транспортованих рулонів безпосередньо залежатиме від правильно підібраного комплексу транспортних та вантажних засобів [13]. Тут особливе значення мають: спосіб вантажно-розвантажувальних робіт, компонування рулонів, максимальне навантаження, подолана відстань, а також кількість працюючого персоналу і техніки. Дані фактори відрізнятимуться щодо підібраного комплексу технічних засобів [14].

Останнім етапом заготівлі пресованого сіна в рулонах буде його зберігання [10]. Привезені рулони, які поки не задовольняють поки що готелям

вологості, вирушають на досушування. Як тільки все необхідне - димі вимоги щодо якості виконані, рулони готові до зберігання. Рулони можуть зберігатися, як під укритими спорудами, так і поза ними. Зазвичай як такі споруди виступають сараї або навіси. На відкритому місці рулони розміщуються на підготовлених вирівняних майданчиках, де їх складають штабелями, що нагадують піраміди, і вкривають брезентом або плівкою. Така форма штабелів забезпечує ефективний захист сіна від вітру та дощу [12].

1.2 Машини для заготівлі сіна у рулонах

На даний момент сіно заготовляють як у пресованому, так і в розсипному вигляді. Розсипна сінозаготівля передбачає збирання сіна в стоги або валки за допомогою технічних засобів. Для підбору розсипного сіна використовують причепи-підбирачі. Ділянка скошується, потім по необхідності в заготівлі сухих кормів, всю скошену масу сушать. Для простого скошування зеленої маси можна скористатися як навісними косарками КРН-2.1, КСФ-2.1 та інші (рис. 1.1), так і причіпними КПП-4.2, КРОНЕ 3200 та інші (рис. 1.2). Якщо йдеться про великий обсяг скошеної маси, то цілий скористатися кормозбиральними

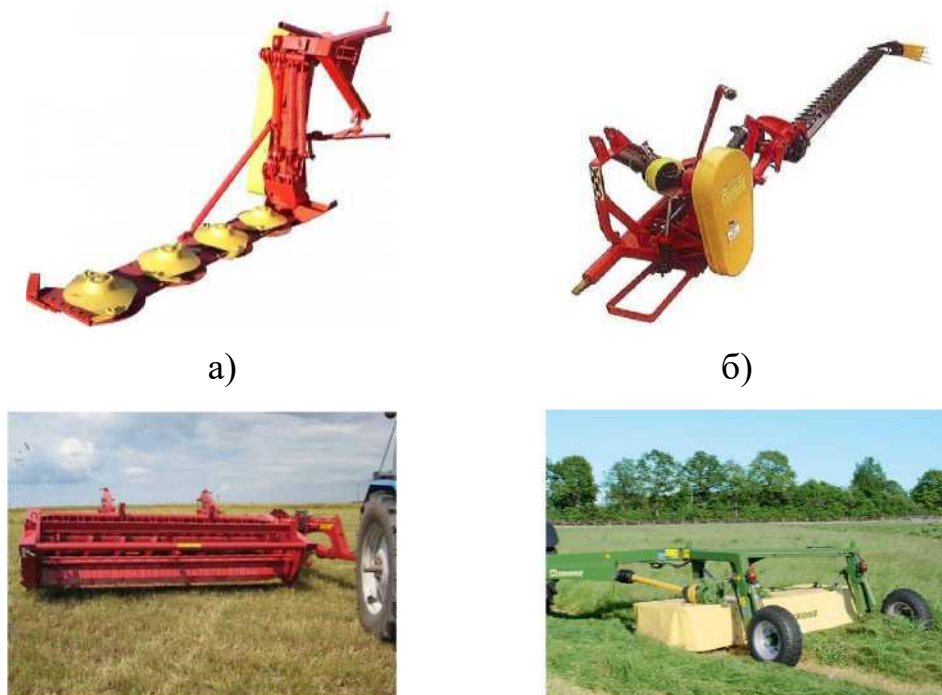


Рис. 1.1 – Навісні косарки: а) КРН-2.1; б) КСФ-2.1



Рис. 1.2 – Косарки причепні: а) КПП-4.2; б) КРОНЕ 3200

У разі збирання свіжої трав'яної маси, відразу переходять до використання причепа-підбирача для підбирання, подрібнення та подальшого транспортування до місця їх зберігання.



а)

б)

Рисунок 1.3 – Причепи підбирачі сіна: а) ТП-45; б) Т-635

Трав'яний підбирач ТП-45 (рис. 1.3, а) служить для підбору сухого сіна або вологої трави, з можливістю подрібнення маси, що підбирається.



а)

б)

Рис. 1.4 – Навантажувачі-стогометачі: а) ПФ-0,5М; б) СПН – 0,5

Заготівля грубих кормів, із сіносомистих матеріалів, у розсипному

вигляді відходить далеко на задній план, за підсумками низької продуктивності, на сьогоднішній день в основному застосовується лише приватниками, на особисте користування, та в небагатьох дрібних господарствах. Здебільшого це впливає важкодоступне місце розташування господарства від полів або лук, а так зокрема труднощі щодо фінансової частини [18].

Пресування сіна найбільш продуктивний та фінансово вигідний спосіб заготівлі грубих кормів.

Способи пресування сіна відрізняються за формою, вагою і видом - культури, що заготовляється. Так машини прес-підбирачі поділяються на тюкові та рулонні [8].

При заготівлі тюків сіна вагою до 35 кг використовують такі прес-підбирачі, як ПТ-165М (рис. 1.4, а) або більш сучасну модель « Unia » Z -511 (рис. 1.4, б), дані моделі призначені для побору валків сіна (соломи), спресовуючи їх у пакунки. У процесі пресування тюки зв'язуються шпагатом із синтетичного волокна.

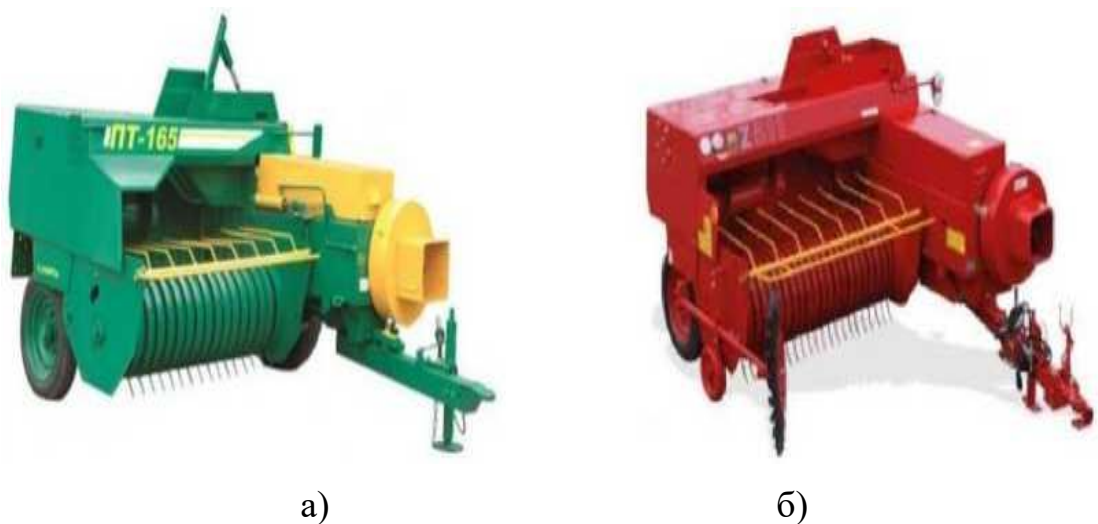


Рис. 1.4 – Прес-підбирачі тюкові: а) ПТ-165М; б) Unia Z -511

Для завантаження прямокутних тюків у тракторний причіп або кузов автомобіля, можна скористатися вищезгаданими навантажувачами-стогометателями або іншими доступними моделями навантажувачів. Також для навантаження тюків використовують ручну працю, що є доступною альтернативою у відсутності вантажних засобів або проблем з проїздом

техніки до ділянки навантаження [19].

Прикладами деяких моделей, як вітчизняних, і зарубіжних, актуальних нині можуть бути: ПР-110М (рис. 1.5, а), -180 (рис. 1.5, б), ПР-Ф-750 (рис. 1.6, а), ППР-120 РСМ (рис. 6, б), Blanchot



а)



б)

Рисунок 1.5 – Рулонні прес-підбирачі: а) ПР-110М; б) ПРФ-180

Залежно від моделі прес-підбирача, що використовується, рулони можуть відрізнятися довжиною, радіусом і щільністю пресування.



а)



б)

Рисунок 1.6 – Рулонні прес-підбирачі: а) ПРФ-750; б) ППР-120 РСМ



а)



б)

Рис. 1.7 – Рулонні прес-підбирачі: а) Blanchot ; б) Extreme LTТакож

зокрема можна виділити моделі комбінованих рулонних прес-підбирачів «MONDIALE» Combi 120 (рис. 1.8, а), «FERABOLI» Duetto 125 (рис. 1.8, б), дані моделі здійснюють підбір, подрібнення сіна, а також упаковку спресованого рулону в плівку для його надійної герметизації.



а)



б)

Рисунок 1.8 – Комбіновані рулонні прес-підбирачі:

а) «MONDIALE» Combi 120; б) "FERABOLI" Duetto 125

Заготівля сіна (соломи) в пресованому вигляді не тільки зручніша в плані збирання та транспортування, але й дозволяє займати значно менше місця при зберіганні.

При транспортуванні рулонів «існують певні труднощі, оскільки кількість моделей самозавантажуваних причепів мало»[11]. Крім того, в процесі навантаження або транспортування рулонів на причепах, що самозавантажуються, вони можуть бути пошкоджені [19].

У більшості випадків для транспортування використовують тракторні причепи 2ПТС-4,5 (рис. 1.9 а), транспортувальники рулонів (рис. 1.9 б) або вантажні автомобілі (рис. 1.10).



а)



б)

Рис. 1.9 – Тракторні причепи: а) 2ПТС-4,5; б) Pronar T 022 M



Рисунок 1.10 – Автомобілі для транспортування рулонів сіна

Це завдання, так само здійснюють за допомогою підбирачів-транспортувальників рулонів, які в свою чергу здатні самі завантажувати - рулони за допомогою вантажного пристрою «Sirpa» WS 6510 (рис. 1.11, а). Варто зазначити, що в основному конструкція таких машин дуже схожа, при цьому існують подібні моделі для навантаження та транспортування тюків сіна TSR 3450 (рис. 1.11, б).



а)



б)

Рис. 1.11 – Підбирачі-транспортувальники: а) підбирачі-транспортувальник рулонів Sirpa WS 6510; б) підбирач-транспортувальник тюків TSR 3450

Безсумнівно, заготівля сіна в пресованому вигляді, пакунках або рулонах, значно перевершують заготівлю розсипного сіна. Використання - високопродуктивних машин, універсальних та комбінованих агрегатів - забезпечують найбільшу продуктивність, без необхідності ручної праці [20]. У той же час варто згадати про гібридні моделі машин, що здійснюють підбір і пресування сіна в рулон з подальшою його подачею на вантажну платформу, розташовану за пристроєм пресування [26].

Звертаючи увагу до всі переваги даної технології заготівлі сіна, слід зазначити і недоліки. До них відносяться [19]:

1) особливі вимоги до процесу сінозаготівлі. Для того, щоб не допустити псування сіна, необхідно простежити за його вологістю перед - процесом пресування. Зазвичай сіно висушується до 17% вологості, але також допустимі деякі відхилення за умов непостійної погоди;

2) відсутність спеціального устаткування малих господарствах. Для приготування кормів із спресованого сіна, як правило, використовують спеціалізовані подрібнювачі, обмолотники, а також, у разі контролю вологості, використовують сушарки, ворушилки або застосовують консерванти;

3) проблема реалізації на малому ринку через незацікавленість товаровиробників у великих обсягах, а також з урахуванням наведених вище причин;

4) вибір того чи іншого технічного засобу при реалізації технології - прибирання спресованого в рулони сіна здійснюється особою, яка приймає рішення, як правило, за одним найважливішим (з його точки зору) показником, без урахування безлічі інших показників.

Існують такі розробки технічних засобів, мета яких з бавитися від застосування додаткової вантажної техніки. Так, у роботі [11] представлена схема навантажувача-транспортувальника рулонів сіна (рис. 1.12).

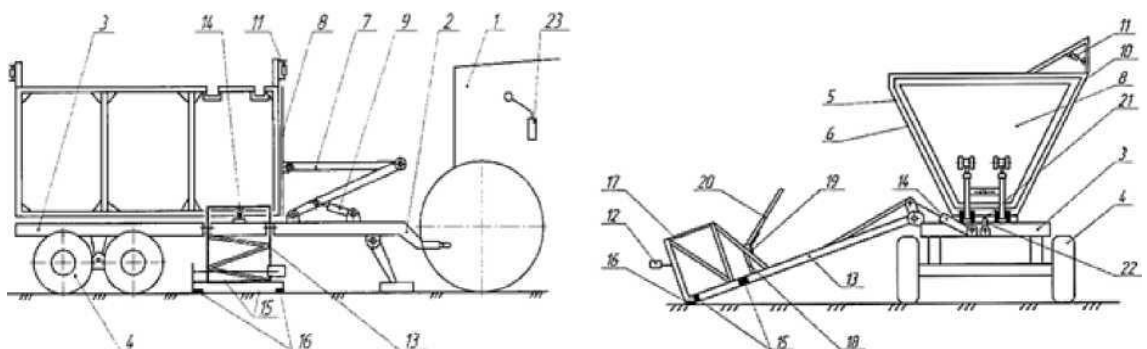


Рис. 1.12 - Схема навантажувача-транспортувальника рулонів сіна

Згідно з описом, даний навантажувач-транспортувальник рулон працює наступним чином. Перш ніж приступити до процесу навантаження рулонів

необхідно опустити стрілу 13 з вільчастим захопленням доки вона не упреться в черевики 16, після чого скатну решітку 20 переводять у робоче положення. Під час руху вільчасте захоплення підбирає та піднімає рулон до контакту з упорною рамкою 17. Потім рух агрегату припиняють і стрілу 13 піднімають, а рулон скочується по решітці 20 в кузов 5. Далі процес навантаження рулонів продовжують тим же чином, до повного завантаження кузова.

Навантажувач-транспортувальник рулонів згідно з [22] відрізняється простотою конструкції, але при цьому в процесі навантаження рулону потрібен додатковий час на зупинки, що негативно позначається на загальній продуктивності агрегату.

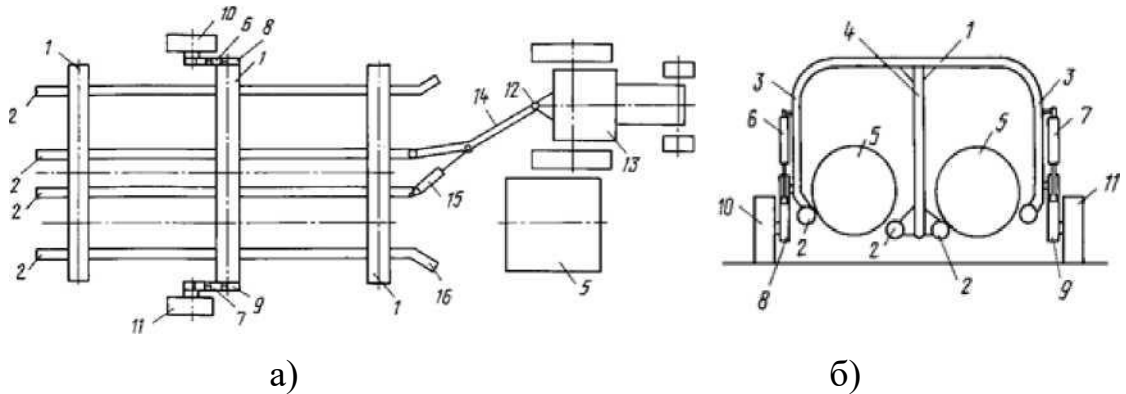


Рис. 1.13 – Схема транспортного засобу для завантаження, транспортування та вивантаження рулонів сіна

Перед початком роботи транспортного засобу проводять налаштування жолоба, що завантажується. За допомогою гідроциліндра 15 здійснюють поворот дишла 14, по потребі вліво або вправо, для того щоб транспортний засіб стало виходити за межі тягача 13 на відстань, рівну діаметру підбирається рулону 5. За допомогою гідронавішування 12 і гідроциліндра 6 жолоб опускають до моменту з найменш зазором між стоками 3 і пальцями 2. Агрегат починає рух проходячи вздовж ряду з рулонами, де напрямні 16 служать орієнтиром для точного захоплення рулону. Після чого жолоб з рулоном, що пройшов у нього, піднімають, переводячи транспортний засіб у транспортне положення. Послідуючі рулони продовжують завантажувати за тим же принципом.

Позитивними властивостями даного транспортного засобу є простота

конструкції в сукупності з високою продуктивністю, проте спостерігається значна втрата часу на перехід з транспортного положення в робочу її на етапі перед підйомом рулону.

Проводилася розробка експериментальної конструкції вантажної платформи для транспортного засобу, що використовується для перевезення рулонів сіна [2] (рис. 1.14).

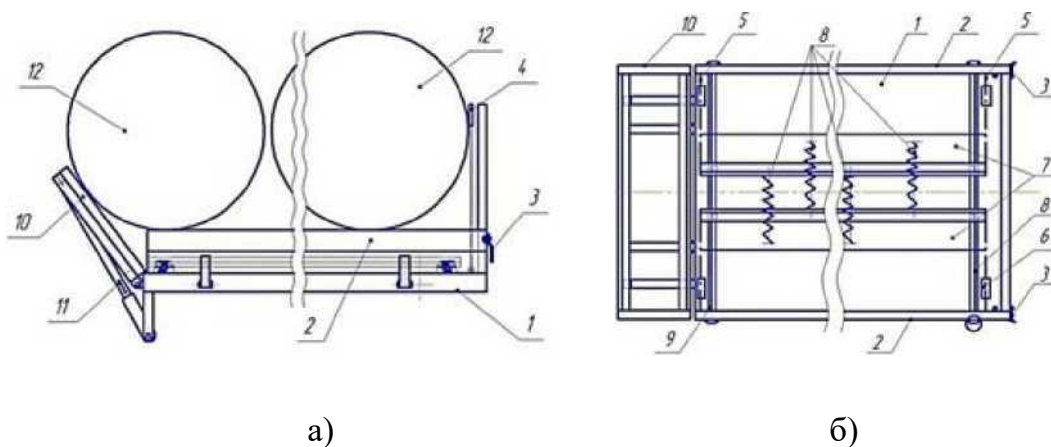


Рис. 1.14 - Схема вантажної платформи:

«а) вид збоку; б) вид зверху

Варто відзначити особливості даної конструкції, а саме: відкидні бічні борти 2 мають меншу висоту в порівнянні з заводськими бортами. При цьому відкидні борти сприяють утриманню рулонів а в кузові транспортного засобу розташовуючи його під деяким кутом до поздовжньої осі вантажної платформи 1.

Дана конструкція працює наступним чином: один з відкидних бортів відкривають 2 одночасно з цим починає рух рухомий брус 7 наближаючись до бокового краю платформи 1. Разом з цим пружини 8 починають розтягуватися, а рулон 12 починає поступово переміщатися до зовнішньої сторони платформи 1. Як тільки рулон 12 досягне краю вантажної платформи, то при зміщенні центру ваги почне перевалюватися через край і тим самим викотиться на майданчик. Після розвантаження рулонів борту 2 закриють за допомогою зворотних пружин 8»[67].

Дана конструкція транспортного засобу забезпечує зниження витрат

праці на операції з вивантаження рулонів сіна, але все ж таки процес звантаження рулонів вимагає задіяти додаткові технічні засоби та робочу силу.

Представлені конструкції технічних засобів для навантаження, транспортування та вивантаження рулонів сіна сприяють підвищенню експлуатаційних та економічних показників у порівнянні з серійними моделями машин.

Таким чином, розробка технічного засобу, що забезпечує завантаження рулонів сіна в транспортний засіб без зупинок перед навантаженням кожного рулону, актуальна в даний час для сільськогосподарських підприємств, основна діяльність яких є заготівля сіна в рулонах.

1.1.1 Щодо підвищення ефективності використання технічних систем на збиранні сільськогосподарських культур

На основі експериментальних досліджень, а також з аналізу наукових праць визначено низку недоліків серійних транспортних засобів при їх використанні на збиранні сільськогосподарських культур. До них можна віднести: значні витрати часу на вивантаження насіння з бункера, а у разі заготування сіна на корм для ВРХ існує необхідність у задіянні додаткових технічних засобів на навантаженні сіна в транспортний засіб і подальшого вивантаження на місце зберігання [94]. Втрати часу при цьому дуже відчутні, що в результаті призводить до порушення агротехнічних термінів збирання та зниження якості кормів, що заготовлюються.

Актуальною проблемою досі залишається правильний підбір технічних засобів, які були б здатні забезпечити швидке та якісне виконання операцій з збирання сіну при мінімальних витратах праці [21]. Вирішенням цієї проблеми може стати застосування комплексного критерію ефективності, який дозволяє підібрати максимально ефективний комплекс машин зі списку доступних технічних засобів, для виконання необхідних операцій зі збирання сіна в умовах зниженого зволоження [18].

Найкращі показники оцінки ефективності сільськогосподарських технічних засобів досягаються за умови вибору найбільш відповідної

експлуатаційної стратегії. До цього моменту до актуальних критеріїв для досягнення максимальної ефективності відносили зниження витрат праці, зниження собівартості та підвищення максимальних значень корисного ефекту.

У багатьох вітчизняних та зарубіжних дослідницьких роботах доведено, що до показників, які відрізняються своєю простотою та надійністю, відносять показники, пов'язані з експлуатацією машин у часі. До таких показників ставляться: показники надійності, продуктивність, коефіцієнт використання часу (під час зміни) та інших [17]. Застосування даних показників необхідне визначення загальної оцінки експлуатації доступних моделей машин у всьому МТП. При цьому процес використання наведених показників ефективності не обходиться без вад [19].

Методи, що застосовуються для техніко-економічного обґрунтування технологічних процесів, успадковують концепцію ще з початку 20 століття. Дані методи беруть до уваги найменші значення повних витрат коштів у експлуатацію машин чи реалізацію прийнятих операцій.

Критерій мінімальної собівартості вимагає визначення прямих експлуатаційних витрат, таких як збирання зернових культур з безпосереднім перерахуванням до валового збирання зерна або убраної площі:

Дослідження в роботі [15] наочно демонструють порівняльний аналіз технологічних процесів рослинництва, що безпосередньо залежать від енерговитратності, враховуючи оцінку найменших енергетичних витрат до енергонасиченості технічних засобів та їх чисельності, необхідних для функціонування технологічного процесу.

Показники ефективності формують єдину групу, виражаючи економічний ефект стосовно приватного показника господарського ресурсу або підвищення даного ресурсу. До приватних показників господарського ресурсу відносяться: виробничі фонди, трудові витрати та капітальні вкладення. У той же час, до них можна віднести показник рентабельності виробництва.

Незважаючи на те, що на представлені критерії все ще впливають великі витрати та рамки обмежень, вони продовжують бути актуальними у багатьох окремих випадках.

Метод оцінки агротехнологічної ефективності, згідно з дослідженнями роботи [30], ґрунтується на даних узагальнених критеріїв, характеризується використанням середнього показника пропускної спроможності агрегату щодо його найбільших значень, які дозволяють визначити можливі поєднання умов під час збирання зернових культур на заданій ґрунтово-кліматичній зоні. Варто відзначити, що представлений критерій ефективності застосовується лише у разі наявності великих обсягів статистичних даних.

Авторами цей показник називається, як коефіцієнт випередження. Згідно з даними, поданий коефіцієнт випередження визначався для груп комбайнів за відмінностями по сезонному намолоту зерна. Цей коефіцієнт використовується для характеристики зернозбиральних комбайнів. Але при цьому його використання, як показника оцінки умов експлуатації зернозбиральних комбайнів супроводжується труднощами, так як при цьому враховується лише річний намолот без підрахунку врожайності, площ, що збираються [5].

У більшості випадків при порівнянні зернозбиральних комбайнів - використовують цільову функцію, яка враховує мінімальні втрати та дроблення зерна. Саме цю цільову функцію застосовують у дослідження роботи [22], однак були накладені обмеження на ряд показників, зокрема, на продуктивність.

«Існує безліч різних методичних підходів моделювання ефективності експлуатації зернозбиральних комбайнів»[15].

За даними роботи [15] враховують значення споживчих особливостей - зернозбиральних комбайнів, зовнішні умови та умови аграрного товаровиробника:

У той же час нерідко виникає проблема неоднозначного рішення при виборі критерію ефективності. Для вирішення таких ситуацій вдаються до

використання інших правил і підходів для підбору необхідного критерію ефективності. Таким чином критерій ефективності визначається на основі концепцій [22], заснованих на раціональному виробленні всіх рішень, а саме: оптимізація, придатність, адаптація.

У роботі [20] беруть до уваги навантаження в період всього сезону на окремих агрегат, враховуючи при цьому до 5 приватних показників ефективності, такі як: ймовірність виконання операції протягом зміни, темп збирання культури, біологічна врожайність культури, травмування та втрати зерна при збиранні. В результаті, дана досконала технологія може бути представлена як багатокутник у якого число вершин відповідає кількості аналізованих показників. При цьому, вершини побудованого багатокутника розташовуються на осях вибраних показників, для яких координати приведені до одиниці. Таким чином точка відліку D_0 мінімізованих показників знаходиться в точці перетину осей, а максимізованих знаходиться в точці, що знаходиться з боку зовнішнього кола. Після визначення необхідних значень K_{μ} , у разі розглянутих актуальних технологій прибирання, були побудовані відповідні багатокутники (рис. 1.15).

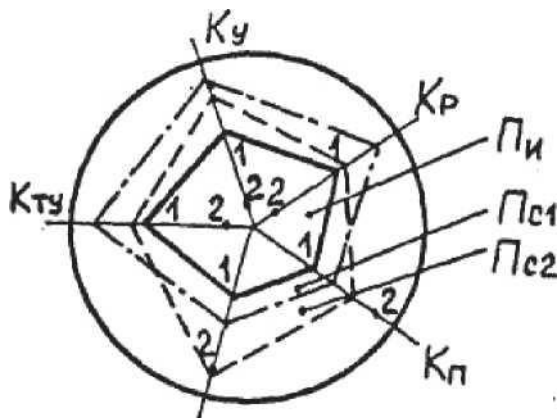


Рис. 1.15 – Модель багатокритеріальної оцінки ефективності

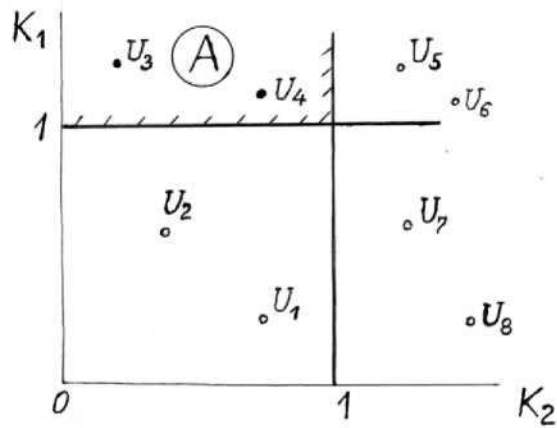


Рисунок 1.16 – Графічне представлення методу «витрати-ефект»

Дослідження комплексного критерію в роботі [2] показують, що облік собівартості перевезень рулонів сіна має сенс у тому випадку, коли порівняльний аналіз актуальних технологій покаже різницю експлуатаційних витрат більш ніж на 10%.

Оцінюючи ефективності сільськогосподарських машин актуально гуртуватися концепції придатності, з допомогою якої визначається критерій ефективності, враховуючи, як фактичний, і бажаний рівні окремих показників, які як і займають у його складі [21].

Як і говорилося раніше, всі раніше створені сільськогосподарські технічні засоби, що недостатньо задовольняють якісним показникам, на виконанні робіт зі збирання сорго і зокрема суданської трави [19]. Ця скрута проявляється щодо специфічних біологічних властивостей культури сорго. Саме тому вченими Волгоградського ДАУ було запропоновано конструкції соргозбиральних комбайнів [13]. Дана конструкція також забезпечує вивантаження вже обмолоченого зерна на ходу без зупинки. Ефективність застосування цієї конструкції обґрунтована комплексним критерієм ефективності.

Також варто зазначити, що при виконанні сільськогосподарських операцій вкрай важливо дотримуватися всіх агротехнічних термінів. У роботі [243] описано особливий вплив термінів збирання суданки на показники якості та врожайність на полях південного регіону.

Одним із показників, що має особливий вплив на ефективність експлуатації технічних засобів для збирання сільськогосподарських культур, як показано в ряді наукових праць [23], є їх продуктивність.

Встановлено, що важливим фактором, що впливає на підвищення - продуктивності при заготівлі пресованого сіна в рулонах, залишається впровадження інноваційних технічних засобів для виконання операцій з транспортування рулонів сіна. Щодо цього можна виділити такі роботи, дослідження яких пов'язані з удосконаленням технічних засобів для транспортування рулонів сіна.

Щодо даної роботи, автором проведено аналіз тракторних процесів, що відрізняються за вантажопідйомністю, дослідження проводилися в однакових умовах з урахуванням руху з вантажем і без.

Наприкінці автор робить висновок, що на операціях з навантаження та вивантаження кормів, безперечно, найбільший негативний ефект залежить від тривалих простоїв транспортних засобів у ході виконання операцій. А значить дієвим вирішенням даної проблеми буде правильний підбір технічних засобів на виконання даних операцій, зроблений з урахуванням відстані транспортування сіна за різної вантажопідйомності.

Особливості даних технічних засобів приховані у простоті та надійності конструкції. Також дані дослідження спрямовані на покращення умов для комфортної експлуатації транспортного засобу та якісного виконання роботи. За словами авторів, дані конструкції транспортних засобів здатні забезпечити зниження за витраченого часу на операції з навантаження та вивантаження рулонів сіна підвищуючи тим самим загальну продуктивність.

Виявлено низку проблем на операціях з транспортування рулонів сіна:

1. Небезпека деформації кузова транспортного засобу спочатку непризначеного для виконання цих робіт.
2. Необхідність втручання додаткової техніки та робітників на виконання вантажних робіт.
3. Труднощі на виконання робіт при використанні іноземних технічних

засобів, які не задовольняють вимоги на виконання робіт у наших місцевостях.

4. Аналіз вихідних даних: тип культури, обсяг урожаю, вологість скошеної маси та ін.

5. Накопичення відомостей та аналіз погодних умов під час заготівлі сіна. Вибір технології заготівлі з урахуванням прогнозування кліматичних умов.

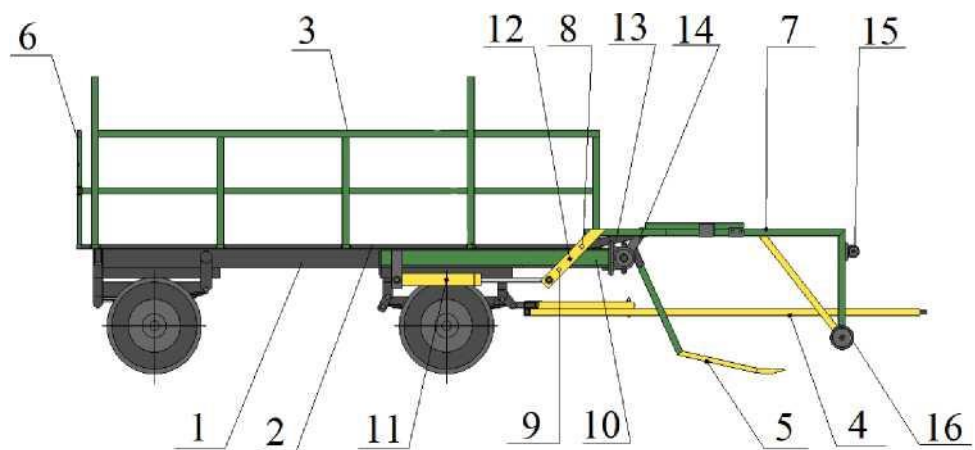
6. Вибір техніки, яка застосовується з урахуванням обраної технології прибирання.

З аналізу вивчених наукових праць випливає висновок про необхідність суттєвого підвищення продуктивності машин, зниження витрат праці на завантаженні та розвантаженні рулонів сіна та втрат урожаю, шляхом впровадження у виробництво ново розроблених машин з оптимізованими геометричними параметрами. При цьому існує проблема вибору максимально ефективних машин для збирання пресованого сіна в рулонах на корм для ВРХ.

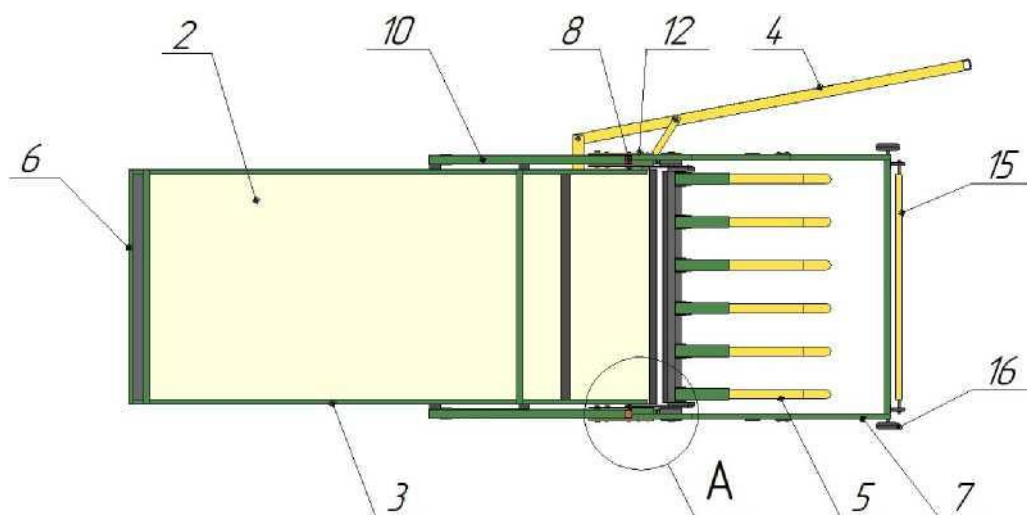
2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НА ПРИБИРАННІ РУЛОНІВ СІНА

2.1 Особливості конструкції запропонованого навантажувача-транспортувальника рулонів сіна

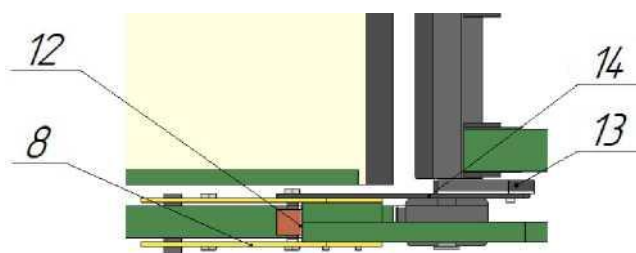
Розроблена конструкція навантажувача-транспортувальника рулонів сіна містить шасі 1, платформу 2 з бічними бортами 3, причіпний пристрій 4, з'єднаний з платформою шарнірно за допомогою поворотного кола, вантажний пристрій 5, задній борт 6, при цьому навантажувальний пристрій 5 доповнення рулону, виконаний з двох поздовжніх і двох поперечних балок встановлених на осях верхніх роликів 8 з можливістю їх переміщення по напрямних 10 за допомогою механізму підйому і опускання, що складається з двох гідроциліндрів 11, розміщених під напрямними 10, двох важелів захоплення 12 з верхніми 8 9 роликками, тяга 13 і важелів навантажувального пристрою 14. Кожен з двох важелів захоплення 7 встановлені на напрямних 10, де в сукупності з верхніми роликками 8 і нижніми роликками 9 утворюють рухомий вузол, який за рахунок свого руху по напрямній 10, під засобом зміщення штоків гідроциліндрів 11, здійснює переміщення навантажувача 5 і захоплення 7. Так само захоплення 7 був обладнаний обертовою балкою 15 і обмежувачами захоплення 16, виконані у вигляді коліс і встановлені з боків в крайніх положеннях захоплення, для підвищення безпеки під час навантаження (Рис 2.1) [13].



а) вид збоку



б) вид зверху



в) елементи механізму навантажувального пристрою

Рис. 2.1 – Схема навантажувача-транспортника:

Розробки модернізації даної конструкції проводяться і в даний час, поліпшення стосуються місткості, автоматизації та інших важливих

параметрів технічного засобу [16].

Розглянемо технології підготовки до роботи розробленої конструкції - навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, а також його використання при виконанні робіт.

Перед початком робіт конструкцію налаштовують відповідно до розмірів за рулонів, що завантажуються. Регулювання піддається захоплення 7 навантажувача-транспортувальника, а саме, винесення захоплення і місце розташування балки, що обертається 15.

Для зміни виносу захоплення 7, послаблюють болти на фіксуючих напрямних, закріплених на кожній з поздовжніх балок захоплення 7. Потім - вручну встановлюють винос захоплення 7, засуваючи або висуваючи поздовжні балки. Після регулювання винесення захоплення 7, болти фіксуючі напрямних затягують.

Балка, що обертається, 15 може встановлюватися в 6 положеннях в залежності від ситуації. Для цього необхідно заздалегідь вибрати бік та висоту кріплення балки, а потім закріпити її за допомогою болтів із двох кінців через корпуси підшипників на підготовлені позиції.

У разі потреби ці параметри можна скоригувати на місці безпосереднього прибирання рулонів. Фотографія експериментального навантажувача-транспортувальника представлена малюнку 2.2.



Рис. 2.2 – Навантажувач-транспортувальник рулонів сіна

На полі рулони покладені рядами. Навантажувач -транспортувальник, який був на місце прибирання, переводять з транспортного положення в

робоче. Для цього конструкція причіпного пристрою 4 транспортного засобу дозволяє фіксувати його у двох положеннях (рис. 2.3).

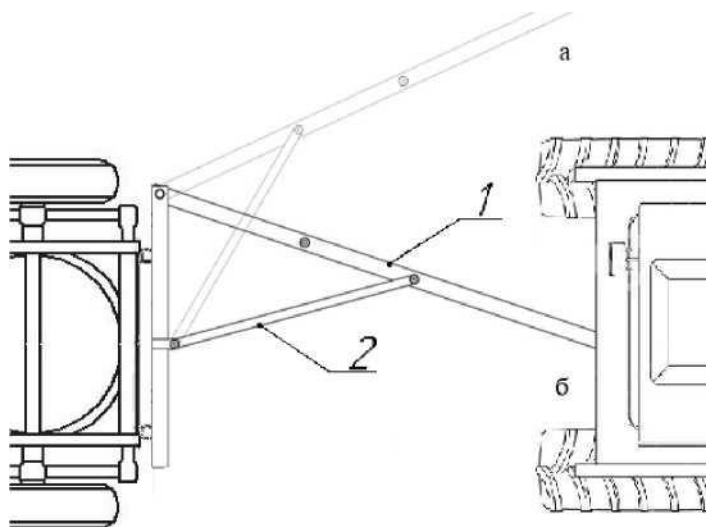


Рис. 2.3 – Фіксація положення причіпного пристрою: а – робоче; б – транспортне; 1 – дишло; 2 – важіль

Сам причіпний пристрій 4 встановлено і закріплено на поворотній осі на одному з країв основної балки, яка в свою чергу кріпиться на поворотному колі, а змінює і фіксує своє положення за допомогою важеля зі стопором, встановленого на поворотній осі по одному стогін основної балки. Тим самим стопор важеля фіксує причіпний пристрій у двох позиціях. Коли транспортний засіб підігнаний до рулону навантажувач відчіплюють від трактора, після чого оператору необхідно від'єднати фіксатор важеля, що утримує причіпний пристрій 4, повернути причіпний пристрій 4 у позицію робочого положення та зафіксувати його за допомогою важеля. Коли навантажувач-транспортувальник вже причеплений до трактора, оператор переводить рукоять гідророзподільника і навантажувальний пристрій 5 починає опускатися до контакту із землею (рис. 2.4).

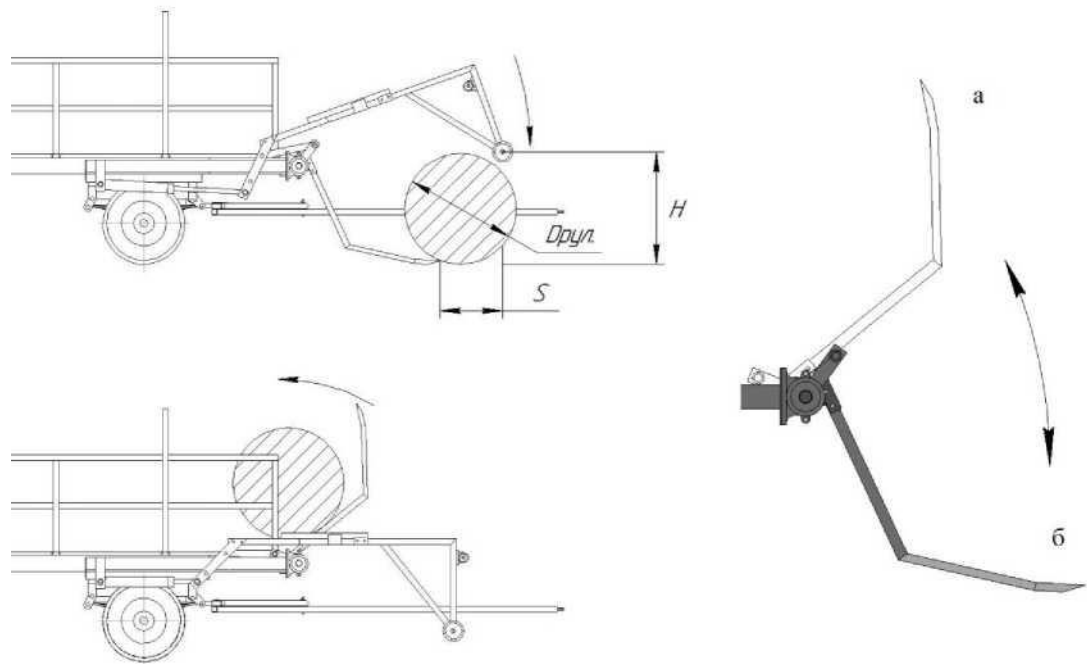


Рис. 2.4 – Напрямок руху вантажного пристрою в процесі навантаження рулону:

а – крайнє верхнє положення, б – крайнє нижнє положення

У той же час захоплення 7 навантажувального пристрою 5 висувається вперед на відстань S , що дорівнює $0,5-0,6$ діаметра рулону D_p , за рахунок обмежувачів ходу, розташованих на напрямних 10 у верхніх роликів 8, де при досягненні верхніх роликів 8 обмежувачів захоплення 7 починає прокручуватися навколо осей верхніх роликів 8, від чого нижні ролики 9 упнуться, прилягаючи до напрямних 10. Внаслідок чого здійснюється підйом захоплення 7, де висота H від першої з його поперечних балок до найближчої точки зіткнення з полем дорівнює $(1,1-1,2) D_p$. Розміщення точки обмежувачів ходу верхніх роликів 8 також задають точки крайнього розташування захоплення 7. На малюнку 2.5 представлено напрямок рух вузлів навантажувача-транспортувальника при підготовці до процесу навантаження рулону, а напрямок руху захоплення і вантажного пристрою в процесі навантаження рулону представлено на рис. 2.6.

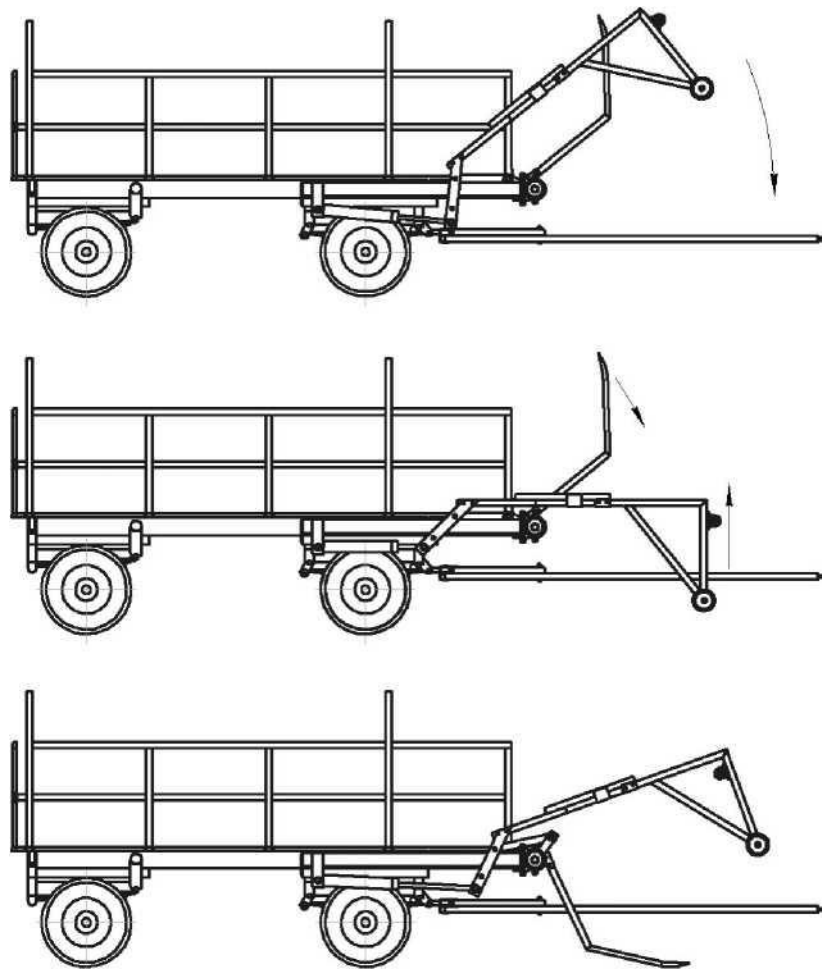


Рис. 2.5 – Напрямки руху вузлів навантажувача-транспортувальника під час підготовки до процесу навантаження рулону

Під'їзд навантажувача-транспортувальника до рулону слід таким чином, щоб рулон розташовувався між направляючими навантажувача 5. Оператор переводить рукоять гідророзподільника на «опускання» і штоки гіроциліндрів 11 втягуються, впливаючи на важелі захоплення 7 і повертаючи його під кутом щодо осей моменту, коли вони упруться в напрямні 11. Навантажувач 5 також вже опуститься, а захоплення 7 продовжить рух підтягуючи рулон на навантажувач 5. Потім осі почнуть штовхати важелі навантажувача 14 змушуючи тим самим підняти рулон і подати його на платформу 2, а рулон скотиться по платформі 2 до заднього борту 6 транспортувальника.

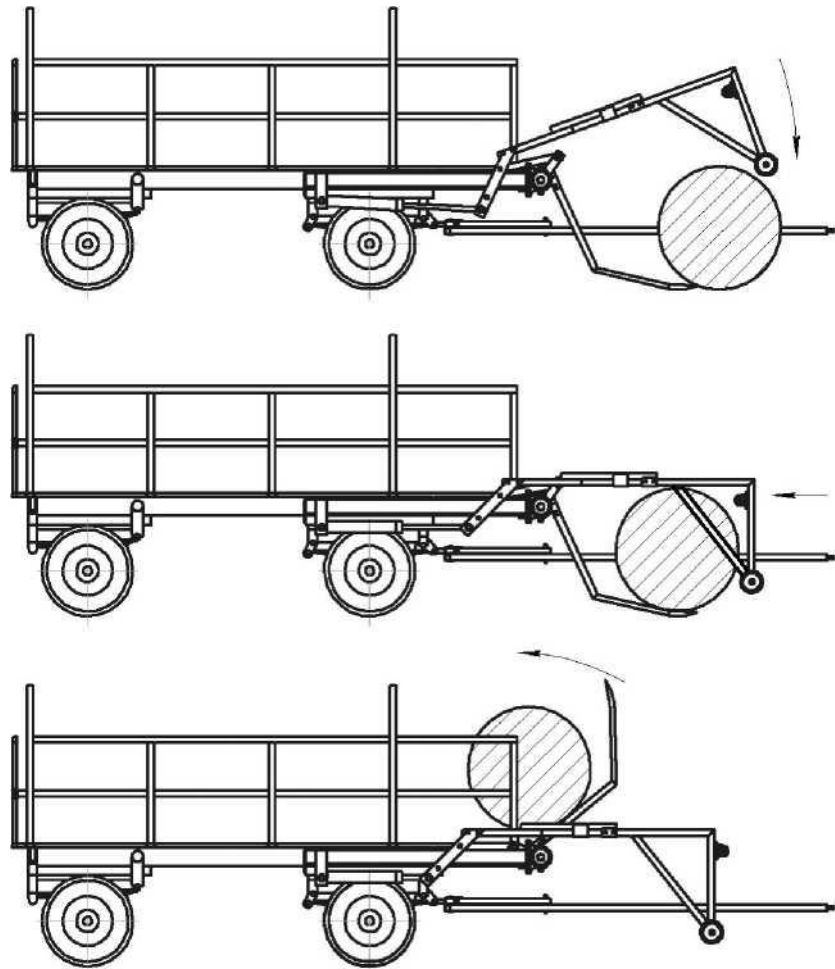


Рис. 2.6 – Напрямок руху захвату та навантажувального пристрою в процесі навантаження рулону

Процес повністю повторюється з наступними рулонами до повного завантаження. Положення навантажувача закріплюється фіксатором, після чого ланцюговий пристрій 4 транспортного засобу переводять в транспортне положення і рулони можна доставити до крапок і зберігання. По приїзду місце розвантаження задній борт 6 відкривають і опускають. При опусканні заднього борту 6 його утримують у підвішеному положенні за допомогою закріплених ланцюгів, таким чином, борт утворює рампу, по якій рулони скотяться на землю. Етапи навантаження, транспортування та вивантаження рулонів представлені на рис. 2.7.



Рис. 2.7 – Етапи навантаження і транспортування рулонів

«Найважливішими показниками, що впливають на ефективність використання технічних засобів на збиранні сіна в рулонах, є їх продуктивність і збереження вантажу, що транспортується» [12]. Для даних показників стосовно розроблюваного технічного засобу необхідно визначити основні фактори, що впливають на дані показники. Враховуючи той факт, що даний навантажувач-транспортувальник унікальний за своєю конструкцією та обладнаний спеціальними вузлами та пристроями, цілі відповідно буде наголосити на конструктивно-режимних факторах, що мають безпосереднє відношення до даних конструктивних особливостей [17].

Конструктивні параметри, що впливають, як на продуктивність технічного засобу, так і на збереження вантажу, такі:

- винесення захоплення;

- наявність обертової планки на захопленні, яка перешкоджає жиму рулону;

- наявність коліс-обмежувачів на захопленні, що перешкоджають удару за хвату про можливі об'єкти або нерівність ґрунту;

Стосовно експериментального навантажувача-транспортника швидкість завантаження рулонів залежатиме від якості оптимізації конструкції, швидкості руху агрегату та досвіду оператора. Дані умови впливають на підсумкову продуктивність агрегату на етапі навантаження з урахуванням виконання нерівності, при якому:

$$t_{\text{цп}} \leq t_{\text{пр}}$$

де $t_{\text{цп}}$ - час, витрачений цикл навантаження одного рулону, с; $t_{\text{пр}}$ - час, необхідний агрегату подолання відстані від рулону до рулону, с.

Регулювання довжини захвату l залежить від розміру рулону. Також винесення захоплення l може змінюватися в залежності від розташування планки 15, що обертається, оскільки вона може кріпитися з внутрішньої або з зовнішньої сторони захоплення в трьох позиціях щодо обох зі сторін (рис. 2.8, 2.9) [13].

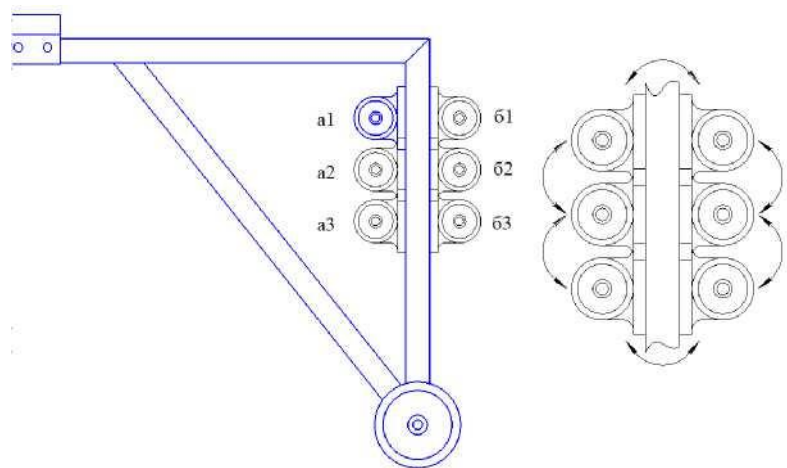


Рис. 2.8 – Позиції кріплення балки, що обертається (вид збоку): a1, a2, a3 – позиції з внутрішньої сторони захоплення, b1, b2, b3 – позиції із зовнішнього боку захоплення

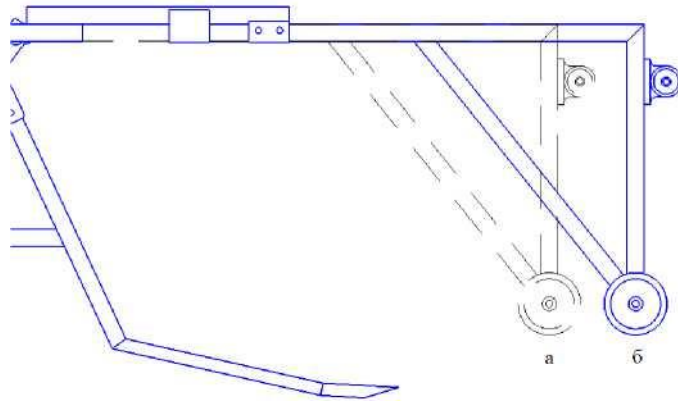


Рис. 2.9 – Позичії захоплення (вид збоку):

а – позиція при найкоротшому винесенні захоплення; б – позиція при крайньому винесенні захоплення

На захопленні 7 також передбачені обмежувачі 16, виконані у вигляді коліс, що перешкоджають жорсткому зіткненню захоплення про можливі перепади рельєфу поля [19].

2.2 Фактори, що впливають на ефективність використання технічних засобів для навантаження та транспортування рулонів сіна

На даний момент для підвищення рентабельності сільськогосподарського виробництва необхідно підвищувати ефективність використання машин та технічних засобів при виконанні сільськогосподарських робіт. Це відноситься і до збиральної техніки [17]. Для цього потрібно дати оцінку ефективності використання машин і технічних засобів, зокрема, для збирання сіна в пресованому вигляді згідно з комплексним критерієм. Але перед цим слід вкрай необхідно вивчити і проаналізувати основні фактори, що впливають на показники експлуатації даних машин.

Дослідження машинно-тракторного парку (МТП) сільськогосподарських підприємств Волгоградської області, а також умов експлуатації машин і технічних засобів, що беруть участь у збиранні сіна в рулонах, у сукупності з аналізом наукових праць, заснованих на дослідженнях машин та агрегатів, а саме, їх продуктивності, надійності, технологічності,

якості виконуваних робіт, особливостей експлуатації та технологій прибирання, чи дозволили виявити основні фактори, що мають суттєвий вплив на ефективність використання даних машин та технічних засобів [4, 41, 17, 18, 15, 10].

Дослідження проведено згідно з методикою, заснованою на використанні сучасних теорій наукової логіки, концепції теорії ефективності операцій та методології дослідницьких робіт.

Під час аналізу вивчених робіт і, зокрема, оцінки ефективності заготівлі сіна на грубий корм для ВРХ, «вдалося визначити три основні групи факторів, що впливають на показники ефективності використання машин для формування сіна в рулони та транспортних засобів для їх транспортування до місця зберігання»[12]:

1. конструктивно-технологічні фактори машин, що експлуатуються на збиранні;
2. фактори умов збирання;
3. технологічні чинники.

Перша, конструктивно-технологічна група факторів є конструктивними особливостями машин і технічних засобів для формування рулонів сіна, що здійснюють вантажні роботи рулонів у кузов транспортних засобів, що виконують транспортувальні роботи з перевезення рулонів до місця їх безпосереднього зберігання.

При аналізі транспортних засобів на операції з перевезення рулонів сіна конструктивно-технологічними факторами будуть:

1. обсяг кузова із можливістю її модернізації;
2. вантажопідйомність у сукупності ефективності її використання;
3. допустимі значення швидкості руху з урахуванням маневреності та прохідності щодо умов та типу використовуваних доріг;
4. стійкість до перекидання;
5. особливість способу розвантаження, при використанні самоскидів або застосування додаткової техніки;

6. технічна та технологічна надійності;
7. можливість транспортування рулонів сіна;
8. забезпечення збереження форми рулонів, а також захисної упаковки та утримуючих обв'язок.

Друга група факторів включає: фактори заготовлюваних культур, експлуатаційно-організаційні та природно-кліматичні фактори.

Фактори заготовлюваних культур характеризуються: врожайністю, вологістю рослин та засміченістю поля. Дані фактори впливають на - завантаженість, а отже, і на продуктивність прес-підбирачів.

Особливе значення експлуатаційно-організаційних факторів пов'язане з показниками використання машин і агрегатів, а саме їх продуктивність, якість виконуваних робіт і собівартість сіна.

Що стосується природно-кліматичних факторів, до яких відносяться умови збирання сіна в рулонах щодо опадів, що випали, за весь період збирання, температура повітря, а також швидкість напряду вітру. Всі ці умови, так чи інакше, впливають на продуктивність машин, якість заготовлюваного сіна, втрати врожаю та багато інших важливих показників.

Третя група, до якої належать технологічні фактори, характеризується якістю виконуваної роботи та рівнем механізації та автоматизації процесів формування рулонів, навантаження рулонів у транспортний засіб та їх розвантаження в пункті зберігання [10].

У конкретних умовах при збиранні сіна в рулонах, на показники - використання машин безпосередньо впливатимуть кваліфікація обслуговуючого персоналу, швидкісного режиму на операції з підбору валків, пресування сіна в рулони і транспортування готових рулонів до місця зберігання [19]. У той же час до цих факторів можна зарахувати середню відстань пере-

візок рулонів, що визначається щодо таких умов: розмір господарювання з урахуванням відстані до пункту вивантаження рулонів, стан доріг та їх частка з твердим покриттям, планування робіт, фактичне

навантаження на технічний засіб, періодичність виконуваних робіт з заготівлі, транспортування та вивантаження рулонів та ще багато інші [9, 10].

2.3 Обґрунтування комплексного критерію ефективності використання технічних засобів для збирання сіна у рулонах

Для оцінки ефективності експлуатації технічних засобів, призначених для збирання сіна на корм для ВРХ, необхідно звузити коло приватних показників, узагальнивши і включивши їх до складу комплексного критерію [16].

«Приватні показники, що входять до складу комплексного критерію ефективності, визначаються з урахуванням однієї з трьох концепцій раціонального виробітку рішень: придатності, оптимізації, адаптивізації» [11].

Склад комплексного критерію підбирався з урахуванням аналізу науково -дослідних робіт учених, які «вивчають експлуатацію машин і технічних засобів на збиранні пресованого сіна в сукупності з досвідом роботи практичної діяльності. Дослідження проводилися з урахуванням положення ДСТУ 24059-2017 [14], згідно з яким при експлуатаційно- технологічній оцінці машин та технічних засобів одним із показників буде їх продуктивність»[18]. Відповідно до облікового періоду продуктивність даних машин і технічних засобів може вважатися, як 1 година від основного, експлуатаційного, технологічного та змінного часу.

Число рулонів сіна, які фактично перевезли транспортним засобом до місця їх зберігання, обумовлено показниками у складі формули 2.1, а також показниками, запропонованими у ДСТУ 24059-2017 [14]: коефіцієнт використання номінальної вантажопідйомності ; швидкості руху з вантажем, без вантажу та середню технічну; коефіцієнти технологічного обслуговування, надійність технологічного процесу, використання технологічного часу, використання змінного часу.

Для кожної з окремо взятих операцій на збиранні сіна в рулонах виділяють кілька машин, зазвичай одну або дві. Здебільшого у реальному часі кожну машину обслуговує один оператор. Це означає, що сумарні витрати

праці на збиранні сіна в рулонах будуть складатися в здебільшого з числа експлуатованих машин і кількості технологічних операцій, що проводяться. Звідси з'являється можливість відзначити ще один приватний показник ефективності використання технічних засобів на операціях з навантаження, транспортування та вивантаження рулонів сіна, а саме, трудомісткість.

Експлуатація машин спричиняє витрати енергії. До цього дня по всьому світу в процесах збирання культур на грубий корм використовуються машини в основі енергетичного засобу для рушіїв є двигуни внутрішнього згорання, що споживають дизельне паливо, бензин, газ або біопаливо.

Для комплексного критерію ефективності вкрай необхідно враховувати економічний показник. Це пов'язано з впливом економічних показників на тарифи робіт, вартість заготовленого корму, прибуток сільськогосподарського підприємства та ін [18].

Беремо до уваги, що функція агрегування $\varphi(W)$ може бути безліччю математичних виразів. Що ж до цього випадку, функція агрегування представляється, як ставлення приватних показників, де за підвищенні їх значень сприяє зростанню величини комплексного критерію ефективності, а разі зниження їх значень усе ще призведе до зростання величини комплексного критерію ефективності [64]. Однак потрібно, щоб усі поодинокі показники, що входять до складу комплексного критерію ефективності, були безрозмірними та скалярними величинами. Для дотримання цих умов необхідно визначити значення всіх одиничних показників. Таким чином, отримана залежність комплексного критерію ефективності оцінки робіт з навантаження, транспортування та вивантаження рулонів сіна, що враховує сукупність приватних показників та важливість кожного з них.

Висновки до розділу 2

1. Наведено особливості конструкції запропонованого навантажувача - транспортувальника рулонів сіна з обґрунтуванням необхідності використання додаткових вузлів, що забезпечують підвищення продуктивності технічного засобу та збереження вантажу.

2. Розроблено та запропоновано технологію проведення вантажно-транспортних робіт на збиранні рулонів сіна з використанням експериментальної моделі навантажувача-транспортувальника рулонів сіна.

3. Запропоновано класифікувати всю сукупність факторів, що впливають на ефективність використання розробленого навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, на три основні групи: конструктивно-технологічні, технологічні та умови збирання.

4. Вибрано найважливіші приватні показники, які суттєво впливають на ефективність використання машин та технічних засобів при виконанні операцій з навантаження, транспортування та вивантаження рулонів.

5. Обґрунтовано математичну залежність комплексного критерію ефективності використання технічних засобів для навантаження, транспортування та вивантаження рулонів сіна, що враховує сукупність приватних показників та їх відносну важливість

3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Оцінка розмірно-масових характеристик рулонів сіна

Для оцінки маси та геометричних розмірів рулонів сіна використовувалися рулони, спресовані прес-підбирачами ПР-110М та ППР-120 РСМ. Усі задіяні на збиранні сіна в рулонах прес-підбирачі були заздалегідь підготовлені до роботи .

Щільність пресування сіна налаштовувалась таким чином, щоб при рекомендованій для пресування вологості сіна, що дорівнює 20 – 22%, маса рулонів була близька до заданої технічними характеристиками прес-підбирачів, а саме: ПР-110М – 150 кг та ППР-120 РСМ – 25 кг.

Як уже було сказано раніше, нам потрібно визначити необхідну кількість інтервалів статистичного ряду N і величину одного інтервалу ΔW .

Розрахунки показали, що $N_I = 10$, а $\Delta W = 5$ кг.

У процесі проведення дослідження опрацьовано дані розмірно-масових характеристик 100 рулонів сіна, для кожного з застосовуваних прес-підбирачів.

Результати розподілу маси рулонів, спресованих прес-підбирачами ПР-110М та ППР-120 РСМ, представлені на рис. 3.1 та рис. 3.2.

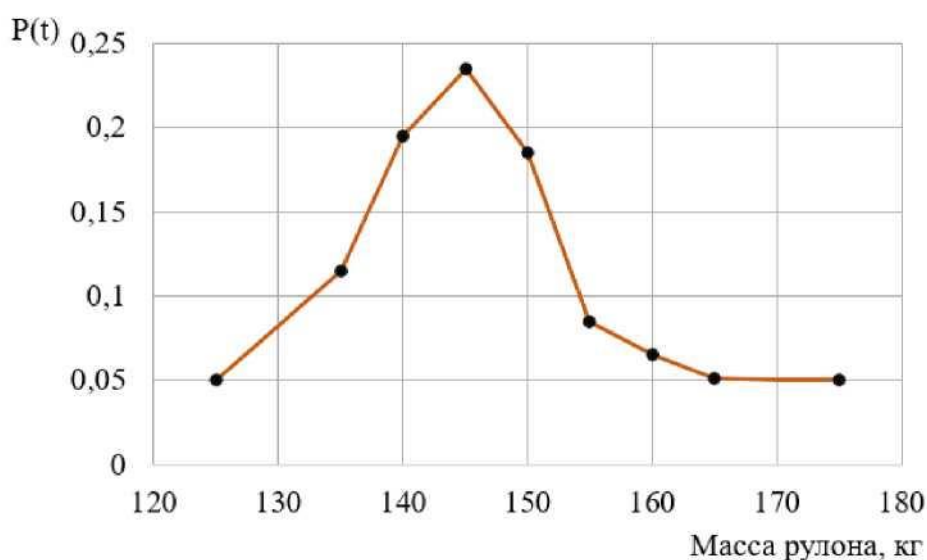
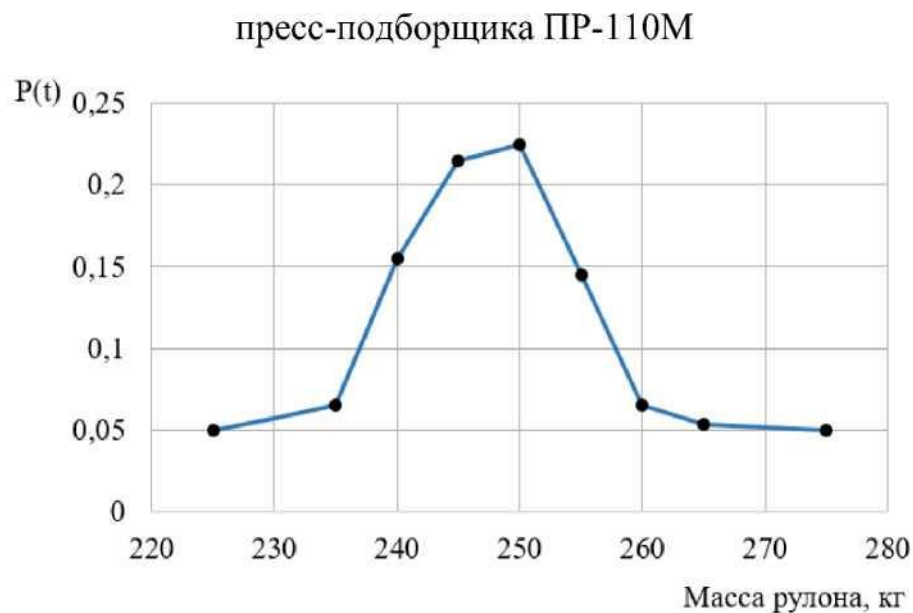


Рис. 3.1 – Розподіл маси рулону від прес-підбирача ПР-110М



Малюнок 3.2 - Розподіл маси рулону від прес-підбирача ППР-120 РСМ

За статистичними даними розраховані значення математичного очікування маси спресованих рулонів сіна залежно від застосовуваного прес-підбирача ПР-110М або ППР-120 РСМ: 145-149 кг і 246-250 кг відповідно.

Після цього були розраховані середньоквадратичні відхилення маси отриманих рулонів від прес-підбирачів ПР-110М та ППР-120 РСМ. Для ПР-110М $\sigma = 13$ кг, а для ППР-120 РСМ $\sigma = 11$ кг.

На основі отриманих даних можна зробити висновок, що пресування рулонів сіна досліджуваними моделями прес-підбирачів здійснюється максимально наближено до розрахункових значень.

Крім маси рулонів дано оцінку їх діаметра у двох площинах. Результати вимірювань представлені графічно на малюнках 3.3 та 3.4.

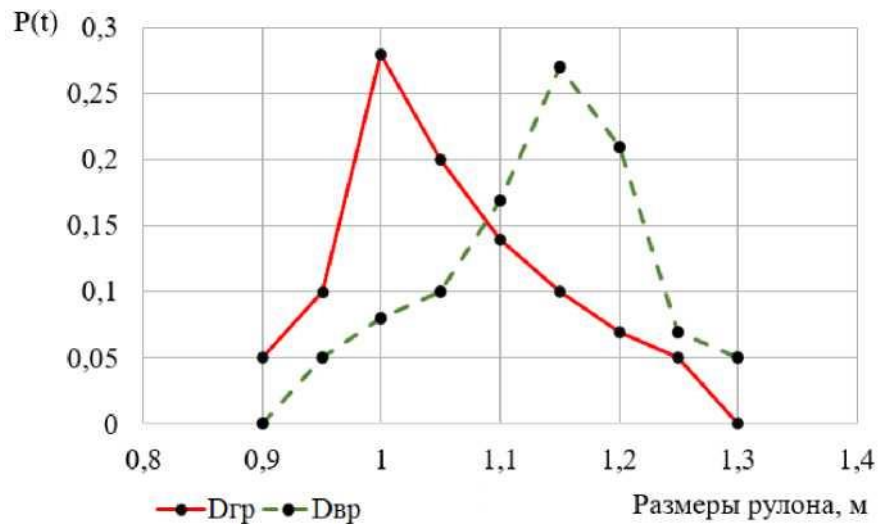


Рис. 3.3 - Розподіл діаметрів рулонів, від прес-підбирача ПР-110М: $P_{ГР}$ - діаметр у горизонтальній площині; $P_{ВР}$ - діаметр рулону у вертикальній площині.

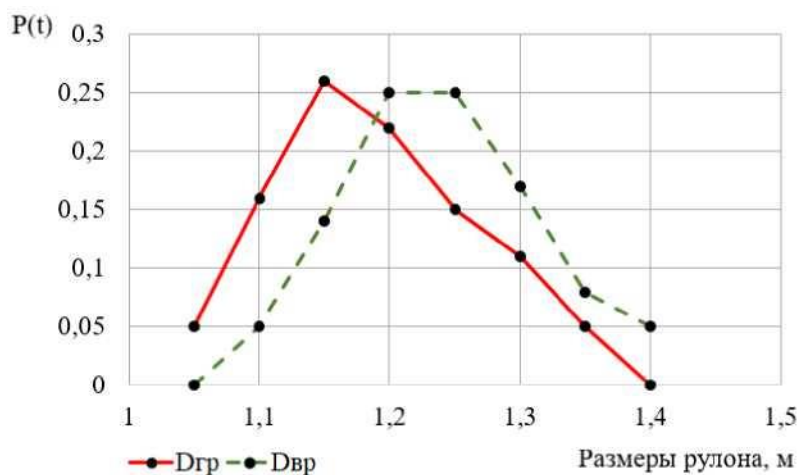


Рис. 3.4 - Розподіл діаметрів рулонів, від прес-підбирача ППР-120 РСМ: $P_{ГР}$ - діаметр у горизонтальній площині; $P_{ВР}$ - діаметр рулону у вертикальній площині.

Згідно з розрахунками, математичні очікування розмірних параметрів рулону, а саме діаметрів $D_{ГР}$ та $D_{ВР}$ при використанні прес-підбирачів ПР-110М та ППР-120 РСМ склали відповідно: $D_{ГР} = 1,11-1,15$ м та $D_{ВР} = 1,06-1,10$ м; $D_{ГР} = 1,22-1,26$ м та $D_{ВР} = 1,18-1,22$ м.

Розрахувавши середньоквадратичне відхилення діаметрів рулонів отримаємо такі значення: для ПР-110М $D = 0,11$ м і $H = 0,09$ м; для ППР-120

PCMD = 0,08 м і Н = 0,07 м-коду.

На основі отриманих даних по середньоквадратичним відхиленням діаметра рулонів у різних площинах, встановлено, що параметр еліпсності несуттєвий, а отже - еліпсність рулонів незначна.

3.2 Результати оптимізації конструктивних параметрів розробленого навантажувача-транспортувальника рулонів сіна

Обрані оптимізовані фактори досліджуваного навантажувального пристрою: x_1 – кут між верхньою та середньою балками, x_2 – кут між нижньою та середньою балками, x_3 – довжина середньої балки, x_4 – довжина нижньої балки.

За критерій оптимізації прийнята ймовірність успішного навантаження рулону сіна в кузов навантажувача-транспортувальника.

Область оптимуму визначалася за встановленою методикою із застосуванням плану Рехтшафнера для проведення чотирифакторного експерименту. Використовуючи вищезгаданий план дослідження, за допомогою отриманих експериментальних даних, були розраховані коефіцієнти R_0, R_i, R_{ij}, R_{ii} (3.1) для рівняння регресії:

$$Y = R_{\text{про}} + Z R_i X_i + Z R_{j i} X_i X_j + Z R_{ii} X_i^2 \quad (1.1)$$

Значність коефіцієнтів рівняння регресії оцінювалася згідно з критерієм Стюдента. Незначні коефіцієнти відкидалися після чого здійснювався перерахунок коефіцієнтів регресійної моделі»[19].

Отримано наступне «рівняння регресії:

$$y = 98,1 + 2,7 x_1 - 2,5 x_2 - 1,2 x_3 + 1,0 x_4 - 0,6 x_1 x_2 + 0,5 x_1 x_3 - 0,5 x_1 x_4 + 0,4 x_2 x_3 - 0,3 x_2 x_4 + 0,3 x_3 x_4 - 2,2 x_1^2 - 1,7 x_2^2 - 1,2 x_3^2 - 0,8 x_4^2 \quad (3.2)$$

Верифікація адекватності отриманих математичних моделей здійснена за принципом критерію Фішера:

«де $D^2(y)$ – дисперсія помилки;

D^2 – дисперсія неадекватності моделі;

y_i – випадкова величина, розрахована за математичною залежністю;

y_i - Середньоарифметичне значення випадкової величини;

y_{iq} - Значення i -тої величини в q -том досвіді;

n - кількість ітерацій досвіду;

N - Число рядків матриці плану;

k – кількість факторів»[25].

З розрахункових даних випливає, що при дослідженні показника ймовірності успішного завантаження в кузов технічного засобу $F = 0,9303$. У цьому, залишається постійним умова $F_{0,05} > F$ (де $F_{0,05} = 2,1646$ – прийняте табличний критерій Фішера, за рівня значимості 5%»[19]).

Отже, математичні моделі адекватні.

За програмою, представленою у роботі [25], визначено оптимальні значення вибраних факторів (табл. 3.1). У цій таблиці в чисельнику представлені значення чинників у кодованому вигляді, а знаменнику – в розкодованому.

Таблиця 3.1 - Оптимальні значення досліджуваних факторів

Досліджуваний фактор	Оптимальні значення факторів
x_1 – кут між верхньою та середньою балками, град.	$\frac{0,47}{127}$
x_2 – кут між нижньою та середньою балками, град.	$\frac{0,6}{169}$
x_3 – довжина середньої балки, мм	$\frac{-0,28}{694}$
x_4 – довжина нижньої балки, мм	$\frac{0,32}{298}$

Обробка даних із застосуванням ЕОМ, дозволила визначити коефіцієнти регресії в їх канонічній формі R_{11} , R_{22} , R_{33} , R_{44} і значення критерію оптимізації в оптимальній точці y_s .

Рівняння регресії 3.3, подане в канонічній формі, мають вигляд:

$$p_y - 99,8 = - 2,4 x_{12} - 1,8 x_{22} - 1,1 x_{3^2} - 0,6 x_{4^2}, \quad (3.3)$$

Оскільки всі коефіцієнти при квадратних членах мають від'ємні значення, тоді поверхні відгуків, наведені у рівнянні 3.3, мають вигляд чотиривимірні параболоїди з координатами центрів поверхонь в оптимальних значеннях факторів»[25].

Для того, щоб дізнатися про діапазони оптимальних параметрів необхідно побудувати двовірні перерізи (рис. 3.5 – 3.6)» [25].

При дослідженні поданого двовірного перерізу щодо факторів x_1 і x_2 значення факторів x_3 і x_4 встановлювалися на оптимальному рівні: $x_3 = -0,28$ та $x_4 = 0,32$.

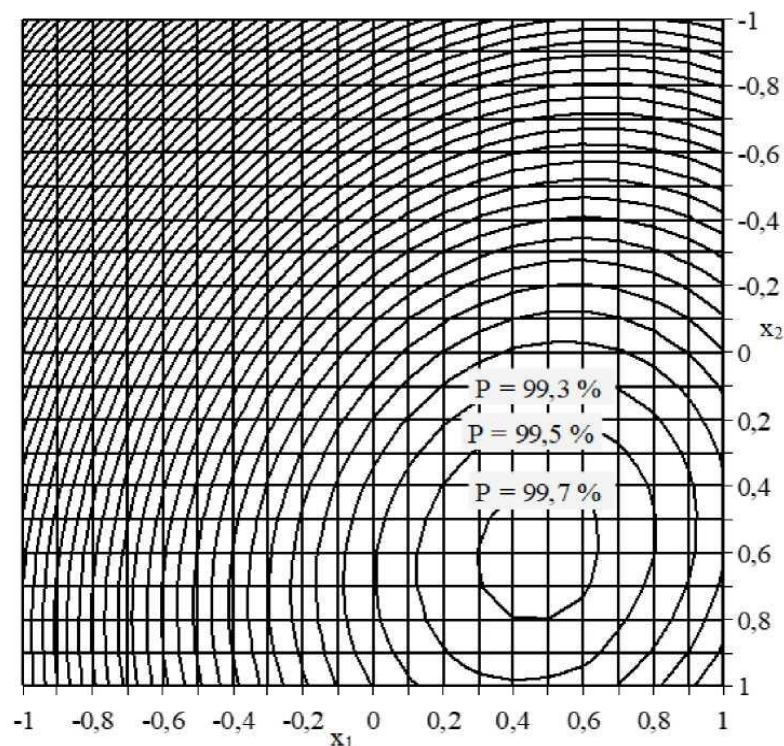


Рис. 3.5 – Двовірні перерізи під час оцінки впливу факторів

x_1 та x_2 при заданих значеннях $x_3 = -0,28$ та $x_4 = 0,32$ на ймовірність успішного навантаження Pr .

З аналізу характеру двовірного перерізу (рис. 4.5) визначено оптимальний діапазон факторів: $x_1 = 0,4 \dots 0,6$ та $x_2 = 0,5 \dots 0,7$.

При дослідженні поданого двовірного перерізу щодо факторів x_1 і x_2 значення факторів x_3 і x_4 встановлювалися на оптимальному рівні: $x_3 = 0,6$ і $x_4 = 0,32$.

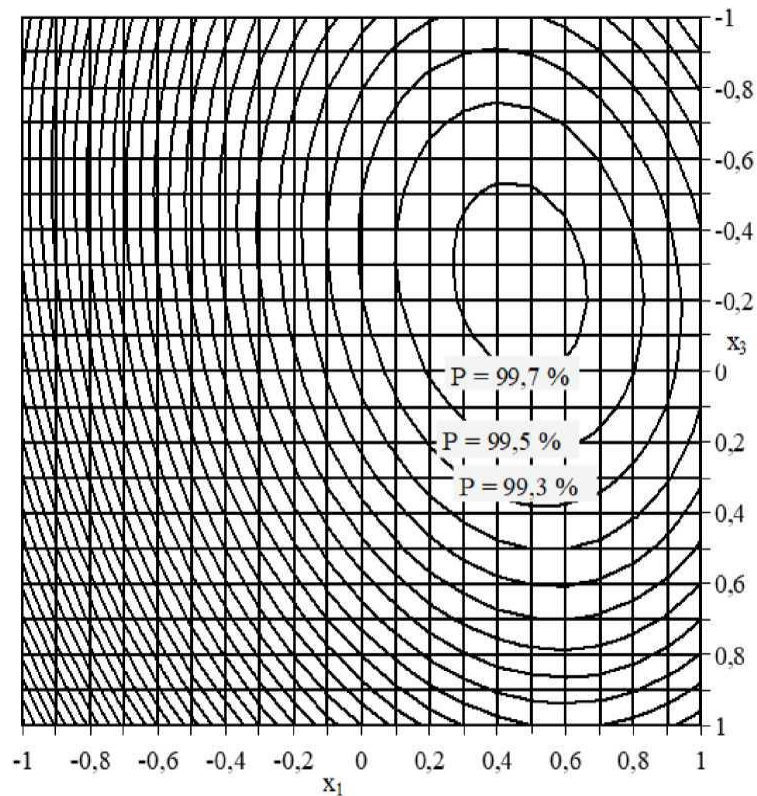


Рис. 3.6 – Двовимірні перерізи при оцінці впливу факторів x_1 і x_3 при $x_2 = 0,6$ та $x_4 = 0,32$ на ймовірність успішного навантаження Pr

З аналізу характеру двовимірного перерізу (рис. 3.6) визначено оптимальний діапазон факторів: $x_1 = 0,4 \dots 0,6$ та $x_3 = -0,4 \dots -0,1$.

При дослідженні поданого двовимірного перерізу щодо факторів x_1 і x_4 значення факторів x_2 і x_3 встановлювалися на оптимальному рівні: $x_2 = 0,6$ і $x_3 = -0,28$.

Результати розрахунків наведено в таблиці Д5 (Додаток Д5) та графічно представлені на рисунку 3.7.

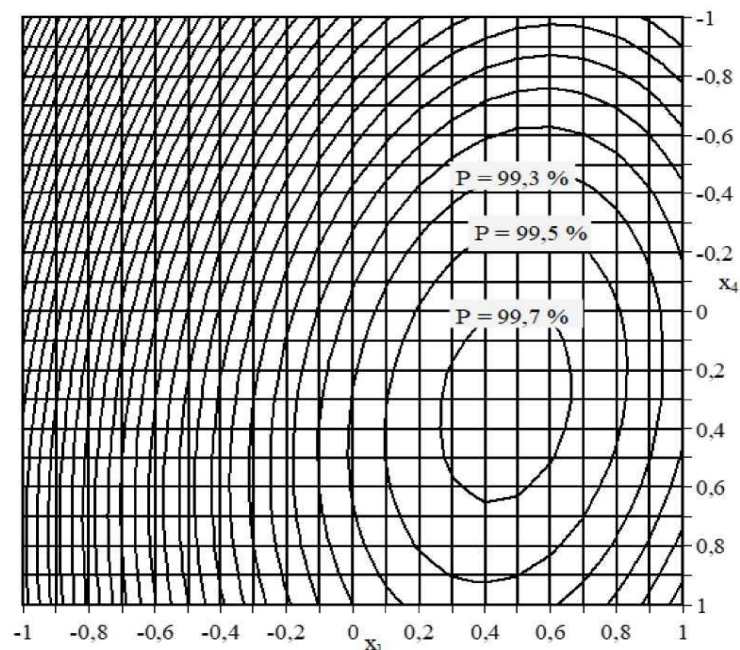


Рис. 3.7 – Двовимірні перерізи при оцінці впливу факторів x_1 і x_4 при $x_2 = 0,6$ та $x_3 = -0,28$ на ймовірність успішного навантаження Pr

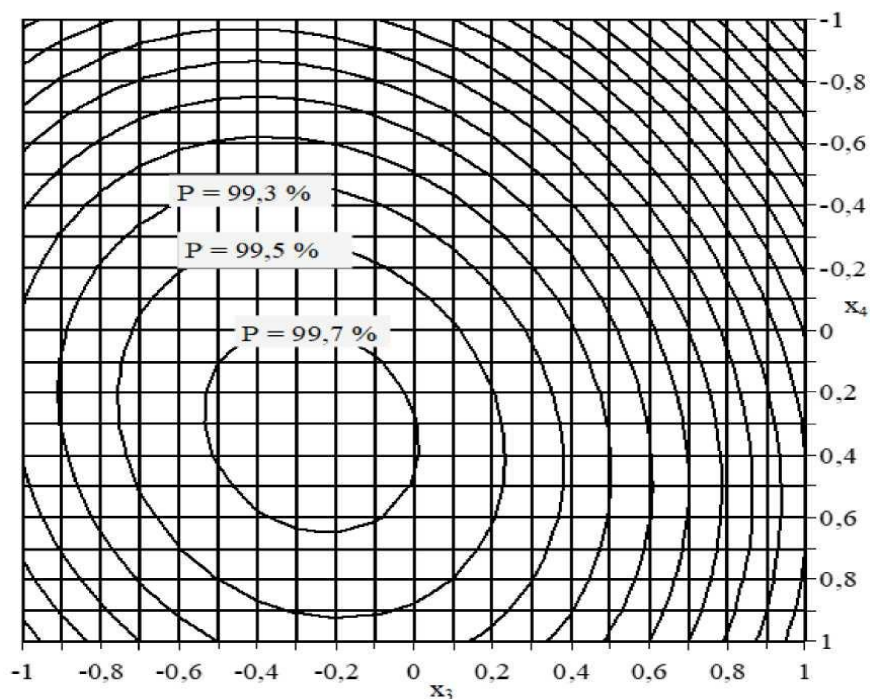


Рис. 3.8 – Двовимірні перерізи при оцінці впливу факторів x_3 та x_4 при $x_1 = 0,47$ та $x_2 = 0,6$ на ймовірність успішного навантаження Pr

З аналізу характеру двовимірного перерізу (рис. 3.8) визначено оптимальний діапазон факторів: $x_3 = -0,4 \dots -0,1$ та $x_4 = 0,1 \dots 0,5$.

Проведені дослідження показують, що надання гарантій найбільшої

ймовірності успішного завантаження рулонів сіна в кузов технічного засобу ($Pr = 99,7 \%$), досягається за рахунок застосування запропонованих оптимальних діапазонів досліджуваних факторів: $x_1 = 0,4 \dots 0,6$ (126... 129 град.), $x_2 = -0,1 \dots 0,1$ (168 ... 171 град.), $x_3 = -0,1 \dots 0,1$ (670 ... 730 мм) і $x_4 = 0 \dots 0,2$ (265...325 мм).

Таким чином, ґрунтуючись на вищевикладених розрахунках та двовимірних перерізах визначено оптимальні діапазони значень досліджуваних факторів розробленого навантажувача-транспортувальника рулонів сіна.

3.3 Результати хронометражу використання технічних засобів на збиранні рулонів сіна

Для оцінки часткових показників ефективності досліджуваних технічних засобів на збиранні рулонів сіна проведено суцільний хронометраж їхньої роботи за двома технологіями: існуючою на даний час у сільськогосподарських підприємствах Волгоградської області та запропонованою в цій роботі. «Існуюча» технологія збирання рулонів сіна передбачає використання на завантаженні рулонів машинно-тракторного агрегату, що включає до свого складу трактор класу 1,4, наприклад, МТЗ-82.1 та навантажувач, наприклад, ПКУ-0.8, а на транспортуванні рулонів, наприклад, на внутрішньогосподарських перевезеннях – трактор типу МТЗ та тракторний причіп (МТЗ-82.1+2ПТС-5). При цьому слід зазначити, що на розвантаженні рулонів за даною технологією найчастіше використовується зазначений вище вантажний машинно-тракторний агрегат. У цьому випадку і вантажний, і транспортний агрегати спільно долають шлях від місця завантаження рулонів до місця їх зберігання, а потім і назад. «Запропонована» технологія відрізняється від «існуючої» використанням одного машинно-тракторного агрегату, що виконує технологічні операції з завантаження, транспортування та розвантаження рулонів сіна. До складу такого агрегату входить трактор класу 1,4 та розроблений навантажувач-транспортувальник рулонів сіна (ПТРМ-1).

Для зручності фіксування даних хронометражу випробування різних технологій проводилися в різні дні та зміни, за рівних умов, а окремі ділянки прибиралися рівномірно з урахуванням мінливості рельєфу поля. Проведення хронометражу при використанні двох досліджуваних технологій супроводжувалося використанням різної кількості машин. Тут варто зазначити, що проведення хронометражу для існуючої технології здійснювалося двома хронометражистами, які здійснювали паралельну фіксацію витрат часу виконання складових елементів технології.

За запропонованою технологією збирання сіна в рулонах хронометраж роботи одного агрегату може виконувати один хронометражист.

Транспортування рулонів проводилося на внутрішньогосподарських перевезеннях, відстань транспортування в цьому випадку не більше 20 км. На всьому протязі досліджень точка розвантаження була постійною, а відстань до окремих ділянок вантажних робіт поступово змінювалася з урахуванням специфіки розподілу рулонів на полі через наявність перепадів у рельєфі місцевості (ярів, балок та пересохлого русла річки). Всі рулони були сформовані за допомогою двох прес-підбирачів марки ПР-110М. На всьому протязі випробувань хронометраж проводився згідно з наступними документами: ДСТУ Р 52758-2007 [19], ДСТУ 28722-2018 [15], ГОСТ 28287-89 [17], ГОСТ 12.2.042-2013 [11], ГОСТ 28286-89 [16], ГОСТ 20915-2011 [12] та іншими.

Наприкінці зміни, після закінчення робіт, усі отримані дані хронометражу збиралися та оброблялися, формуючи статистичні дані в окремі блоки. Отримані дані хронометражу вносилися до підготовлених бланків, що відповідають вимогам ДСТУ 24055-2016 [13], ДСТУ 24059-2017 [14]. Після закінчення збору даних здійснювалася їх обробка з подальшим аналізом.

На основі методики дослідження, представленої в розділі 3, складено баланс часу зміни, на підставі даних його складових вдалося визначити значення основних витрат часу на вантажні роботи, а також витрати часу на транспортні роботи (табл. 3.2).

Враховуючи той факт, що окремі складові балансу часу зміни збігаються за обома технологіями, тому в таблиці 3.2 було враховано лише ті складові балансу часу зміни, тривалість виконання яких для розглядуваних технологій відрізняються.

Таблиця 3.2 – Результати хронометражу (баланс зміни)

Отримані дані	Технологія		
	Існуюча		Запропонована
Залежні від технології складові балансу часу зміни	Склад агрегату		
	МТЗ-82.1 +ПКУ-0,8	МТЗ-82.1 +2ПТС-5	МТЗ-82.1 + ПТРМ-1
Час, год	0,4	0,3	0,33
Додаткові витрати часу, год	0,24	0,295	0,28
Показники часу при погрузці, год	захват	0,0016	0,0028
	підйом	0,0038	0,003
	опускання	0,003	0,003
Час циклу погрузки, год	0,026		0,023
Час доставки, з урахуванням вивантаження рулонів і повернення агрегату у поле, год	0,80		0,70

Отримані дані суцільного хронометражу роботи досліджуваних агрегатів за представленими технологіями вантажно-транспортно-розвантажувальних робіт дозволили побудувати графіки, що наочно демонструють відмінність витрат часу на залежні від технології складові балансу часу зміни.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

- Для аналізу поточного стану та розробки комплексу заходів із забезпечення охорони праці (ОП) на підприємстві використовуватиметься наступна нормативно-правова база:

- Закон України «Про охорону праці» [17].

- Галузеві Рекомендації щодо управління системою ОП на сільськогосподарських підприємствах.

- Положення, що регламентує порядок розслідування нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві [18].

- Санітарні норми і правила щодо зберігання та транспортування вантажів.

- Правила безпеки праці під час транспортування, зберігання нафтопродуктів та заправки сільськогосподарської техніки.

- Аудит внутрішньої нормативної документації підприємства, проведений шляхом звірки з офіційним «Переліком нормативних документів, що діють у системі Держагропрому України», встановив відсутність низки фундаментальних документів. Зокрема, бракує: Закону України «Про охорону праці», Закону України «Про пожежну безпеку», Рекомендацій щодо управління ОП на сільськогосподарських підприємствах, Закону України «Про безпеку дорожнього руху» та Правил техніки безпеки під час транспортування, зберігання нафтопродуктів і заправки техніки в сільському господарстві.

- Також виявлено нагальну потребу в перегляді та доопрацюванні наявних інструкцій з охорони праці для таких професій, як зварник, слюсар та коваль. Крім того, на підприємстві повністю відсутні типові інструкції для цих категорій працівників. Загальну відповідальність за стан охорони праці на підприємстві покладено на головного інженера.

-

- Система організації роботи з охорони праці на підприємстві

ґрунтується на «Посадовій інструкції з охорони праці». Згідно з цим документом, на керівників виробничих підрозділів покладається обов'язок забезпечувати посилений контроль за:

-
- Дотриманням стандартів, правил, норм, інструкцій та вказівок з питань ОП, а також виконанням розпоряджень і пропозицій контролюючих органів, керівництва та головних фахівців з ОП.
- Своєчасним проходженням атестації підпорядкованими працівниками.
- Коректним формуванням заявок на спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).
- Підтриманням належного санітарного стану на виробничих ділянках та у побутових приміщеннях.
- Доукомплектуванням інформаційного стенда («куточка») з ОП згідно з нормативними вимогами (НПАОП [38]).
- Регулярним та правильним веденням журналів інструктажів.
- Забезпеченням робочих місць актуальними інструкціями та пам'ятками з безпеки праці.
- Здійсненням належного посадового нагляду за технічною справністю устаткування, перевіркою наявності та функціонування захисних огорожень і блокувальних пристроїв.
- Дотриманням вимог виробничої санітарії, а також трудової та технологічної дисципліни.
- Виявлені недоліки та прогалини в системі охорони праці створюють ризик виникнення аварійних ситуацій, що можуть призводити до виробничого травматизму та професійних захворювань.
- Аналіз безпеки експлуатації машин та устаткування виявив низку порушень:
- Заточувальний верстат експлуатується без захисних щитків, а зазор між абразивним колом та опорною планкою не відрегульований належним

чином.

- Настільний свердлильний верстат не обладнаний захисним огородженням та не має заземлення; крім того, періодично використовуються свердла, що не відповідають стандартам безпеки.

- Рівень природного освітлення в зонах розташування обладнання є недостатнім.

- Під час слюсарних та ремонтних робіт іноді застосовується інструмент неналежної якості або такий, що має дефекти.

- На пункті технічного обслуговування автомобілів (ПТОА) та на машинному дворі наявне спеціалізоване обладнання, призначене для мінімізації ризиків травмування (хоча інші недоліки вказують на загальні проблеми з безпекою обладнання).

- Щодо безпеки під час виконання технологічних операцій, аналіз виявив наступні відхилення від встановлених вимог:

- Фіксуються порушення послідовності та правил виконання окремих операцій під час проведення щозмінного (ЕТО) та періодичних технічних обслуговувань (ТО).

- Під час розбірно-складальних робіт при ТО іноді застосовуються непередбачені технологією або саморобні пристосування.

- Періодично для виконання робіт використовується нестандартний або несправний слюсарний інструмент.

- Ділянки з підвищеною пожежною небезпекою не повністю укомплектовані необхідним первинним протипожежним інвентарем (наприклад, відсутні пожежні відра).

- Під час проведення ЕТО трапляються випадки, коли двигун енергетичного засобу (трактора, автомобіля) не вимикається.

- Витяжна вентиляція на пункті технічного обслуговування вмикається не систематично, навіть коли це необхідно.

- При обслуговуванні ходової частини техніки рідко використовуються противідкатні упори (клини) під колеса.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

Доцільність впровадження експериментальної моделі навантажувача-транспортувальника рулонів сіна в сільськогосподарське виробництво буде залежати від економічного ефекту. Таким чином, необхідно визначити експлуатаційні витрати на виконання операцій для кожної з розглянутих технологій.

Прямі експлуатаційні витрати (С) виконання вантажно-розвантажувальних і транспортних робіт на збиранні рулонів сіна визначаються як сума витрат на заробітну плату, пально-мастильні матеріали, ремонт та технічне обслуговування, амортизацію та інші супутні витрати:

$$C = Z_{зп} + Z_{гсм} + Z_p + A + I_d, \quad (5.1)$$

де:

- $Z_{зп}$ – витрати на заробітну плату для робітничого персоналу, грн/т;
- $Z_{гсм}$ – витрати на пально-мастильні матеріали, грн/т;
- Z_p – витрати на ремонт та технічне обслуговування експлуатованих машин, грн/т;
- A – витрати на амортизаційні відрахування, грн/т;
- I_d – витрати на додаткові матеріали, грн/т.

Варто зазначити, що визначення експлуатаційних витрат згідно з ГОСТ 34393-2018 передбачає, що всі значення витрат, для нашого випадку, залежать від сумарного обсягу перевезеного сіна. Як зазначалося раніше, у двох досліджуваних нами технологіях збирання необхідна різна кількість робітничого персоналу, а саме: мінімум 2 робітники для «існуючої» технології та один – для «запропонованої».

За даними статистики на кінець 2024 року місячна заробітна плата у Сумській області за професією «тракторист-механізатор» у середньому становила 19 тис. грн. Розрахувати витрати на оплату праці робітників можна за формулою:

$$Z_{3П} = \frac{\sum_{k=1}^n \lambda_k \tau_k K_3}{W_{CM}}, \quad (5.2)$$

де « λ_k – кількість робітників, чол.;

τ_k – погодинна оплата праці робітника, грн.;

K_3 – коефіцієнт, що враховує рівень соціальних відрахувань.

Звідси витрати на оплату праці, з урахуванням кількості персоналу та робочих змін, для «існуючої» технології становлять 535 грн./т, а для «запропонованої» 401 грн./т.

Для визначення витрат на пально-мастильні матеріали скористаємося значеннями середньої витрати палива, в сукупності з витратами на оливу та мастильні матеріали, розрахунок загальних витрат на ПММ має вигляд:

$$Z_{ГCM} = g_T \cdot Q_T \cdot K_{CM}, \quad (5.3)$$

де « g_T – питома витрата палива, кг/год;

Q_T – витрати на паливо, грн./кг;

K_{CM} – коефіцієнт обліку ціни мастильних матеріалів.

Визначивши значення витрат палива за зміну для кожної з представлених технологій, з урахуванням середньої вартості дизельного палива - 51 грн./кг, при цьому ґрунтуючись на обсязі перевезеного сіна, отримаємо: 622,7 грн./т.

Витрати на ремонт та ТО техніки окремо визначають згідно з формулою:

$$Z_P = \frac{\sum_{Mi}^n B_{Mi} K_P}{W_{CM}} \cdot 10^{-4}, \quad (5.4)$$

де B_{Mi} - ціна машини, без урахування ПДВ, грн.;

K_P - відрахування на ТО та ремонт, %.

На кінець 2024 року середні ціни на сільськогосподарську техніку, без урахування ПДВ, для «існуючої» технології становили: 2ПТС-5 – 490000 грн.;

ПКУ-0,8 – 110000 гривень. Для «запропонованої» технології ціна експериментальної моделі навантажувача-транспортувальника складалася з вартості обраного транспортного засобу (2ПТС-4) та витрат на виготовлення конструкції, без урахування ПДВ, отже ціна ПТРМ-1 становила 440000 гривень.

Згідно з розрахунками, для «існуючої» та «запропонованої» технологій витрати на ремонт та ТО відповідно дорівнюють: 464 грн./т та 400 грн./т.

Для технічних засобів, що входять до складу агрегату, амортизаційні відрахування визначаються окремо одне від одного, застосовуючи дану формулу:

$$A_T = \frac{100}{C_T}, \quad A_{II} = \frac{100}{C_{II}}, \quad (5.5)$$

де C_T – термін служби експлуатованого тягового засобу, років; C_{II} – термін служби експлуатованої робочої машини, років.

$$A = \frac{1}{W_{CM}} \sum_{j=1}^n \frac{B_{Mi}}{R_{Mi}} \quad (5.6)$$

де B_{Mi} – амортизаційний ресурс техніки, год.

Враховуючи той факт, що в нашому випадку грошові витрати на додаткові матеріали незначні, а отже, вони не вплинуть на кінцевий результат. На підставі цього нами було прийнято рішення не враховувати даний показник, залишивши його рівним нулю.

Тепер, коли ми визначили експлуатаційні витрати грошових коштів на виконання операцій, де вигода на 1 тонну становила 350,6 грн./т, можемо знайти річний економічний ефект застосування «запропонованої» технології:

$$E_{\text{річний}} = N_{зм} \times n_p \times m_p \times C_B = 36 \times 32 \times 0,147 \times 350,6 = 59372 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де $N_{зм}$ – число змін, дн;

n_p – число перевезених рулонів за зміну, шт;

m_p – середня маса одного рулону, т.

Тепер визначимо термін окупності за формулою:

$$\text{Токупності} = C_K / \text{Річний} = 100000 / 59372 = 1,7 \text{ років} \quad (5.8)$$

де C_K – витрати на виготовлення конструкції експериментального навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, грн.

На підставі виконаних розрахунків, з урахуванням розглянутих технологій та використовуваних машин для їх реалізації, можна зробити висновок, що економічна ефективність при виконанні робіт за «запропонованою» технологією з використанням експериментальної моделі навантажувача-транспортувальника рулонів сіна, витрати за виконуваними операціями на 14% вищі, ніж у «існуючої» технології з використанням серійних моделей машин та технічних засобів. Річний показник економічного ефекту становив 59372 гривень, з очікуваним терміном окупності 1,7 років.

Отриманий показник економічного ефекту розраховувався з урахуванням завантаження рулонів масою, в середньому, 147 кг, однак при завантаженні важчих рулонів, наприклад, масою 600 кг – вантажопідйомність транспортного засобу буде використана ефективніше.