

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

«Допущено до захисту»

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2025 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Механізація вирощування цукрових буряків з
удосконаленням плуга ПЛН-4-35

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи АІ-22мб-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Яворський Євгеній Володимирович

«___» _____ 2025 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____ Віктор ДЕЙКУН

«___» _____ 2025 р.

Рецензент

доц., канд. техн. наук

_____ Іван СКРИННІК

Кропивницький

ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

1	Вступ	5
2	Аналіз типової технології вирощування цукрових буряків та визначення шляхів її удосконалення	6
3	Операційна технологія виконання оранки при вирощуванні цукрових буряків.	17
	3.1. Агротехнічні вимоги до оранки.	17
	3.3. Комплектування і підготовка агрегату до роботи.	19
	3.4. Підготовка поля.	24
	3.5. Організація роботи агрегату в загінці	35
	3.6. Контроль якості роботи.	28
4	Інженерна частина	31
	4.1. Опис об'єкта розробки та обґрунтування модернізації.	31
	4.2. Технологічний розрахунок.	35
	4.3. Кінематичний розрахунок.	38
	4.4. Силовий аналіз механізмів машини.	38
	4.5. Енергетичний розрахунок.	43
5	Охорона праці	45
6	Висновки	48
	Список використаної літератури	49
	Додатки.	50

1. ВСТУП

Цукрові буряки відіграють важливу роль у багатьох сферах – економіці, сільському господарстві, промисловості, екології та соціальному житті. Вони є одним із головних джерел виробництва цукру поряд із цукровою тростиною. Зокрема, у Європі вирощування буряків має суттєве економічне значення.

Галузь вирощування та переробки цукрових буряків забезпечує робочі місця як у аграрному секторі, так і на цукрових підприємствах, а також у суміжних галузях. Ця культура важлива для сівозміни, оскільки сприяє покращенню структури ґрунту, знижує поширення бур'янів і ґрунтових хвороб. Потужна коренева система буряків покращує аерацію ґрунту і сприяє його родючості.

Загалом, цукрові буряки мають комплексне значення і сприяють сталому розвитку агропромислового комплексу.

Ця кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню конструкції плуга ПЛН-4-35, який використовується в технологічному процесі вирощування цукрових буряків. Раціональне використання плуга в обробі ґрунту є визначальним фактором урожайності. Якісна оранка створює сприятливі умови для росту рослин, знищення бур'янів, поліпшення ґрунтової структури та збереження вологи. Дотримання технологічних вимог і правил безпеки при експлуатації плуга забезпечить високі показники продуктивності у вирощуванні цієї культури.

2. АНАЛІЗ ТИПОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1. Біологічні особливості цукрових буряків

Цукрові буряки (*Beta vulgaris* L.) – дворічна рослина з родини амарантових (раніше – лободових), яка в перший рік формує коренеплід та розетку листків, а в другий – насіннєву стеблову частину. Основною господарською цінністю є високий вміст цукру в коренеплоді, який становить у середньому 15-20%.

Ця культура має добре розвинену кореневу систему. Основний корінь заглиблюється в ґрунт до 2-3 метрів, що дозволяє рослині використовувати вологу та поживні речовини з глибоких шарів ґрунту, підвищуючи посухостійкість. Така особливість вимагає якісної глибокої оранки для ефективного розвитку коренеплоду.

Листя цукрових буряків розташоване в прикореневій розетці. Воно активно бере участь у процесі фотосинтезу, що напряму впливає на накопичення цукру. Потреба буряків у світлі та теплі є високою – оптимальна температура для росту становить +20...+25 °С.

Цукрові буряки досить вимогливі до ґрунтових умов. Найкраще вони ростуть на родючих, добре дренованих суглинкових та супіщаних ґрунтах з нейтральною або слабкокислою реакцією (рН 6.5–7.2). Особливо чутливі до ущільнення ґрунту, що ускладнює розвиток коренеплоду, тому правильна передпосівна підготовка, зокрема глибока оранка плугом, має вирішальне значення.

Культура чутлива до бур'янів на ранніх стадіях розвитку, оскільки росте повільно, поступаючись у конкуренції за ресурси. Також вона потребує високого рівня мінерального живлення, особливо азоту, фосфору й калію, що впливають на ріст коренеплоду та вміст цукру.

Таким чином, біологічні особливості цукрових буряків визначають високі вимоги до якості обробітку ґрунту, сівозміни та догляду, що обґрунтовує необхідність удосконалення технічних засобів, зокрема плугів.

2.2. Місце цукрових буряків у сівозміні.

Цукрові буряки займають важливе місце в сівозміні завдяки своїм агротехнічним, біологічним та економічним особливостям. Вони належать до культур, що висувають високі вимоги до попередників, родючості ґрунту, а також умов обробітку.

Найкращими попередниками для цукрових буряків є озимі та ярі зернові культури (пшениця, ячмінь), зернобобові (горох, соя), а також багаторічні трави, які не спричиняють сильного засмічення ґрунту й залишають його в хорошому структурному стані. Ідеальними є попередники, після яких у ґрунті залишається незначна кількість пожнивних решток, що полегшує обробіток і знижує ризик ураження кореневими гнилями.

Цукрові буряки не рекомендується висівати після кукурудзи, соняшнику або інших культур, що виснажують ґрунт і залишають багато рослинних решток. Також небажано сіяти буряки по буряках частіше, ніж раз на 4-5 років, через накопичення хвороб, шкідників і зниження врожайності.

У сівозміні цукрові буряки часто висіваються після культур, що дозволяють провести якісну зяблеву оранку та основне удобрення восени. Це забезпечує оптимальні умови для росту рослин у наступному сезоні.

Після збирання цукрових буряків поле зазвичай використовують для посіву озимих культур або готують під пізні ярі – залежно від агрокліматичних умов регіону. Завдяки високому рівню удобрення і добре розпушеному ґрунту, посіви після буряків часто характеризуються підвищеною продуктивністю.

Отже, цукрові буряки є цінною ланкою в польовій сівозміні, яка забезпечує не лише високий економічний ефект, але й сприяє підвищенню родючості ґрунту, якщо дотримуватись науково обґрунтованої черговості культур.

2.3. Система удобрення цукрових буряків.

Система удобрення цукрових буряків спрямована на забезпечення рослин необхідними поживними речовинами протягом усього періоду вегетації для формування високого врожаю коренеплодів і підвищення вмісту цукру. Ця система включає основне, припосівне та підживлення, і базується на результатах агрохімічного аналізу ґрунту, попередниках і запланованому рівні урожайності.

1. Основне удобрення.

Вноситься восени під зяблеву оранку. Його мета – наситити ґрунт основними елементами живлення:

- **фосфор (P)** – сприяє розвитку кореневої системи, покращує обмін речовин і підвищує вміст цукру. Вносять у дозі 60-90 кг/га P_2O_5 ;
- **калій (K)** – підвищує посухостійкість, покращує обмін вуглеводів. Оптимальна доза – 100–150 кг/га K_2O ;
- **органічні добрива** (гній, компости) – вносять у нормі 30-40 т/га, особливо ефективні після зернових попередників.

2. Припосівне удобрення

Здійснюється одночасно з посівом або перед ним, з метою забезпечення молодих рослин швидкодоступними формами поживних речовин:

- **амонійні фосфати або складні добрива (нітроаммофоска)** в дозі 10-15 кг/га NPK в активній речовині;
- можливе застосування **мікродобрив**, що містять бор, молібден, марганець, які важливі для нормального розвитку цукрових буряків.

3. Підживлення

Проводиться у фазу 4–6 листків або пізніше (до змикання рядків):

- **азот (N)** — застосовується в помірних дозах, щоб не викликати зниження цукристості. Зазвичай вносять 30-60 кг/га N у вигляді аміачної селітри або КАС;

- **бор** – критично важливий мікроелемент для буряків, запобігає розвитку серцевинної гнилі. Вносять 2-3 кг/га борних добрив у фазу активного росту листя;
- У разі дефіциту інших мікроелементів (магній, марганець, молібден) застосовують листові підживлення.

4. Особливості удобрення залежно від ґрунту

- на легких ґрунтах акцент роблять на калійні та органічні добрива.
- на чорноземах велику роль відіграє правильне дозування азоту для уникнення надмірного нарощування вегетативної маси.
- на **кислих ґрунтах** важливо провести вапнування до вирощування цукрових буряків.

Правильно побудована система удобрення цукрових буряків є основою для отримання високого врожаю з оптимальним вмістом цукру. Вона має враховувати потреби культури, стан ґрунту та агрокліматичні умови, а також поєднувати органічні, мінеральні та мікродобрива в науково обґрунтованих нормах.

2. 4. Обробіток ґрунту при вирощуванні цукрових буряків

Обробіток ґрунту під цукрові буряки має вирішальне значення для забезпечення оптимальних умов проростання насіння, формування коренеплодів та розвитку рослин. Основна мета — створення пухкого, вирівняного, добре аерованого орного шару з достатньою вологістю та мінімальною кількістю бур'янів.

1. Основний обробіток ґрунту

Проводиться з осені, зазвичай після збирання попередника. Його головне завдання – накопичення вологи, знищення бур'янів і залишків рослин, поліпшення структури ґрунту:

- **оранка** на глибину 25-30 см – найпоширеніший варіант, особливо на важких і середніх за гранулометричним складом ґрунтах. Виконується плугами загального призначення (наприклад, ПЛН-4-35 або ПСК-5);

- у посушливих регіонах замість глибокої оранки застосовують глибоке розпушування без обертання пласта для збереження вологи;
- на забур'янених площах до оранки проводять лушення стерні (2 проходи) для знищення падалиці та стимулювання проростання бур'янів, які потім загортаються при основному обробітку.

2. Весняний передпосівний обробіток

Основна мета — зберегти накопичену вологу, знищити бур'яни та створити дрібнозернистий посівний шар:

- **боронування** або **шлейфування** з метою руйнування ґрунтової кірки та вирівнювання поверхні;
- **культивация** – на глибину 5-7 см, одно- або дворазова, залежно від стану ґрунту і погодних умов;
- **передпосівна культивация з посівом** часто виконується комбінованими агрегатами, які одночасно розпушують, вирівнюють і ущільнюють посівний шар.

3. Особливості обробітку в різних умовах

- **на важких ґрунтах** – рекомендовано раннє весняне закриття вологи і повторне боронування;
- **на легких піщаних ґрунтах** – глибока оранка не завжди потрібна, достатньо глибокого розпушування.
- у районах з ризиком водної або вітрової ерозії – застосовується **щадний обробіток** або **безвідвальні технології**.

4. Післяпосівний догляд

- **боронування до сходів** – для знищення ґрунтової кірки і проростків бур'янів;
- **міжрядний обробіток** – виконується культиваторами після появи сходів для покращення аерації, знищення бур'янів і збереження вологи.

Комплексний обробіток ґрунту при вирощуванні цукрових буряків має адаптуватися до ґрунтово-кліматичних умов, попередника і рівня засміченості поля. Правильне поєднання основного і передпосівного

обробітку забезпечує оптимальні умови для формування врожаю і дозволяє ефективно реалізувати потенціал культури.

2.5. Підготовка насіння цукрових буряків для посіву.

Підготовка насіння цукрових буряків до сівби – важливий етап агротехнології, який значною мірою визначає рівень польової схожості, рівномірність сходів та подальший розвиток рослин. Насіння буряків має тверду оболонку і складну структуру, тому потребує ретельної передпосівної обробки.

1. Сортування та калібрування

- насіння сортують за **розміром і масою**, щоб забезпечити рівномірне висівання;
- **калібрування** проводять на спеціальних машинах (наприклад, калібрувальних барабанах) з метою виділення фракцій насіння однакового діаметра – зазвичай у межах 3,5-4,75 мм; рівномірне насіння легше висівати та забезпечує одночасне проростання;
- **покриття насіння спеціальною оболонкою**, яка полегшує висівання, покращує контактування з ґрунтом і включає захисні речовини (інсектициди, фунгіциди, стимулятори росту);
- Завдяки дражуванню формується **кулясте або овальне насіння** однакової форми, що значно підвищує якість посіву.

3. Протруювання

- насіння обробляють **фунгіцидами** та **інсектицидами** для захисту від збудників хвороб та ґрунтових шкідників у період проростання;
- застосовують препарати на основі **металаксилу, тебуконазолу, імідаклоприду** тощо;
- протруювання часто проводиться одночасно з дражуванням.

4. Інкрустація

- більш легка форма обробки насіння, ніж дражування – оболонка тонша, але також може містити **мікроелементи, стимулятори росту**,

плівкоутворювачі; підвищує схожість і енергію проростання, а також частково захищає від негативних факторів.

5. Знезараження

- при потребі проводять додаткову **біологічну або термічну дезінфекцію** насіння для знищення внутрішньої інфекції;
- іноді використовують **електромагнітну обробку** або **ультразвук**.

6. Стимулювання проростання

- застосовують **гіббереліни, ауксини, гумати**, щоб прискорити проростання і підвищити стресостійкість рослин;
- можлива також обробка насіння мікроелементами: **бор, марганець, молібден, цинк**.

Комплексна передпосівна підготовка насіння цукрових буряків – це основа високої врожайності та стійкості рослин. Дразування, протруювання та калібрування забезпечують точне дозування насіння, однорідні сходи і знижують ризик ураження хворобами та шкідниками. Якісно підготовлене насіння – запорука ефективного використання ресурсів і сталого розвитку буряківництва

2.6. Догляд за посівами цукрових буряків

Догляд за посівами цукрових буряків є критичним етапом вирощування цієї культури, який впливає на формування врожаю, цукристість коренеплодів і загальну ефективність агровиробництва. Він включає систему агротехнічних, хімічних і біологічних заходів, спрямованих на забезпечення оптимальних умов для росту і розвитку рослин.

1. До- та післяпосівне коткування

- коткування ґрунту перед і після сівби гладкими або кільчасто-шпоровими котками забезпечує:
 - кращий контакт насіння з ґрунтом;
 - збереження вологи в посівному шарі;
 - дружні та рівномірні сходи.

2. Розпушування міжрядь (міжрядна обробка)

- проводять 2-4 міжрядні обробки в період вегетації, починаючи з фази 2-4 листків.

Основні цілі:

- знищення бур'янів;
- розпушення ґрунтової кірки;
- покращення аерації ґрунту;
- збереження вологи.

3. Проріджування сходів

- здійснюється у фазі 2–4 справжніх листків, особливо за загущених посівів;
- забезпечує оптимальну густоту стояння рослин – 90-110 тис./га;
- проріджування може бути:
 - ручним;
 - механізованим (з використанням спеціальних проріджувачів).

4. Підживлення

- у фазі 4-6 листків проводять **позакореневе підживлення мікроелементами** (бор, марганець, магній);
- при необхідності – додаткове **кореневе підживлення азотом** у фазі активного росту;
- забезпечує кращий розвиток листкової маси і накопичення цукру.

5. Захист від бур'янів, хвороб і шкідників

- **бур'яни**: застосування гербіцидів до- і післясходово (бетанал, метамітрон, десмедіфам).
- **хвороби**: контроль церкоспорозу, борошнистої роси, фомозу – за допомогою фунгіцидів (тиофанат-метил, триазоли);
- **шкідники**: боротьба з довгоносиками, щитоносками, попелицями – обробка інсектицидами (імідаклоприд, тіаметоксам).

6. Зрошення (за потреби)

- у посушливих умовах буряки позитивно реагують на **вологозарядкові** або **вегетаційні поливи**;

- поливи особливо ефективні у період інтенсивного росту коренеплодів (липень-серпень).

7. Контроль росту

- моніторинг фази розвитку, густоти стояння, стану листкового апарату та коренеплодів;
- визначення потреби в додаткових обробках і підживленні.

Комплексний догляд за посівами цукрових буряків дозволяє максимально реалізувати потенціал культури. Вчасне виконання агротехнічних і захисних заходів сприяє формуванню рівномірних, здорових і потужних рослин, що забезпечує високий урожай коренеплодів з доброю цукристістю.

2.7. Збирання врожаю цукрових буряків

Збирання цукрових буряків – завершальний і один із найвідповідальніших етапів технології вирощування культури. Від своєчасності та якості цього процесу залежить збереження врожаю, його маса, цукристість і придатність до зберігання чи переробки.

1. Оптимальні строки збирання

- починають збирання, коли коренеплоди досягають **максимального накопичення цукру**, що зазвичай припадає на **кінець вересня – жовтень**;
- затримка збирання може призвести до:
 - втрати цукристості;
 - зниження якості сировини;
 - пошкодження коренеплодів заморозками.

2. Способи збирання

- **комбайновий (механізований)** – основний спосіб у промисловому буряківництві:
 - застосовуються бурякозбиральні комбайни (HOLMER, ROPA, КС-6Б, КСН-6П тощо): комбайн одночасно зрізає бадилля, викопує коренеплоди, очищує їх від ґрунту та бур'янів.

- **роздільний (двохфазний):**
 - спочатку зрізають бадилля (бадилезбирачем), потім викопують коренеплоди;
 - застосовується в умовах надмірного зволоження або при використанні застарілої техніки.
- **ручне збирання** – рідко використовується, здебільшого на присадибних ділянках.

3. Основні етапи механізованого збирання

1. Зрізування гички:

- здійснюється роторними або ножовими гичкозбирачами;
- важливо уникнути пошкодження верхівки кореня.

2. Викопування коренеплодів:

- за допомогою лемешів або дискових викопувачів;
- важливо уникати механічного травмування.

3. Очищення від ґрунту і домішок:

- використовуються обертальні щітки, грохоти, вібраційні пристрої.

4. Завантаження в транспортні засоби:

- перевезення до пунктів зберігання або на цукрові заводи.

4. Вимоги до якості збирання

- мінімальні втрати врожаю (не більше **5-7%**).
- низький рівень пошкодження коренеплодів (менше **10%**).
- вміст домішок не більше **8-10%**.
- зріз бадилля — на рівні головки без ушкодження серцевини.

5. Зберігання буряків після збирання

- зібрані коренеплоди зберігають у буртах або кагатах на твердому майданчику.
- важливо забезпечити:
 - захист від опадів та низьких температур;
 - провітрювання;
 - запобігання загниванню.

Раціональна організація збирання врожаю цукрових буряків з використанням сучасної техніки, правильне визначення строків та дотримання технологічних вимог дозволяють мінімізувати втрати, зберегти якість сировини та забезпечити її ефективну переробку на цукрових заводах.

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ОРАНКИ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ЦУКРОВИХ БУР'ЯКІВ

3.1. Агротехнічні вимоги до оранки

Основний обробіток ґрунту, як правило, передбачає глибоку оранку або безвідвальний обробіток з метою створення сприятливого водно-повітряного та поживного режиму ґрунту, знищення бур'янів, заорювання поживних залишків і добрив, а також накопичення і збереження вологи. Цей етап є визначальним у підготовці ґрунту для посіву сільськогосподарських культур, зокрема таких вибагливих до умов зростання, як цукрові буряки.

1. Глибина основного обробітку

Глибина оранки встановлюється з урахуванням біологічних потреб вирощуваної культури, типу та властивостей ґрунту. Для цукрових буряків основна оранка виконується на глибину 25-30 см. Така глибина сприяє:

- глибокому заляганню кореневої системи;
- кращому зволоженню ґрунту;
- ефективному перемішуванню органіки та мінеральних добрив.

2. Повне підрізання та обертання пласта

Це забезпечується якісною роботою лемішно-відвального корпусу плуга. Пласт ґрунту має бути:

- рівномірно підрізаний по всій ширині захвату;
- повністю перевернутий для ефективного заорювання бур'янів, насіння, решток попередніх культур, а також внесених добрив.

Недостатнє перевертання призводить до:

- поганого зароблення рослинних решток;
- поширення бур'янів;
- погіршення мікробіологічної активності ґрунту.

3. Розпушування ґрунту без утворення плужної підшви

При систематичному застосуванні однакової глибини оранки утворюється ущільнений шар – плужна підшва, який:

- перешкоджає проникненню води і кореневої системи;
- знижує врожайність;
- сприяє застою води.

Для її запобігання рекомендується:

- періодично змінювати глибину оранки;
- застосовувати чизелювання або глибоке розпушування без обороту

пласта.

4. Якість кришення ґрунту

Після основного обробітку грудки ґрунту повинні бути:

- не більші ніж 6-8 см на легких ґрунтах;
- не більші ніж 3-5 см на середньо- і важкосуглинкових.

Краща кришеність досягається:

- правильним вибором вологості ґрунту при обробітку;
- використанням сучасних плугів із передплужниками та

подрібнювачами;

- при потребі – застосуванням додаткових борон чи котків.

5. Відсутність огрехів

Огрехи виникають при:

- неправильній розстановці корпусів;
- надмірній швидкості руху;
- зношенні лемешів.

Допустима ширина огрехів – не більше 5 см. Їх наявність негативно

впливає на:

- рівномірність розподілу добрив;
- якість сівби;
- схожість та густоту посівів.

6. Прямолінійність борозен

Забезпечує:

- раціональне використання площі поля;
- зменшення витрат пального;

–зручність подальших технологічних операцій — культивації, сівби, внесення добрив тощо.

7. Оптимальний мікрорельєф поверхні поля

Поверхня повинна бути:

- рівною або злегка хвилястою;
- без гребенів і борозен, що затримують воду;
- готовою до весняного передпосівного обробітку без додаткового розпушування.

8. Збереження ґрунтової вологи

Ґрунт не повинен бути пересушеним або перезволоженим. Перевагу надають:

- осінньому обробітку;
- мінімальній кількості проходів техніки по полю;
- розпушенню без обороту (в умовах дефіциту вологи).

Дотримання агротехнічних вимог при виконанні основного обробітку ґрунту є ключовим чинником формування високого врожаю. Особливо це актуально для таких культур, як цукрові буряки, які потребують глибокої, якісної оранки з подрібненням і повним заробленням пожнивних решток. Використання сучасної техніки, грамотне регулювання робочих органів і облік стану ґрунту дозволяють забезпечити високу якість обробітку та сприяють сталому розвитку землеробства.

3.2. Комплектування і підготовка орного агрегату до роботи.

Під час вирощування цукрових буряків, враховуючи особливості оброблюваного поля, зокрема ухил місцевості 2,2%, питомий опір ґрунту 1,8 кН/м, а також агротехнічні вимоги до зяблевої оранки, було прийнято рішення використовувати агрегат, що складається з трактора Т-150 у поєднанні з плугом ПЛН-4-35.

Питомий опір плуга на другій і четвертій передачах трактора буде:

$$K_{nl} = K_0 \cdot (1 + 0,006 \cdot (V_p^2 - V_0^2)), \quad (3.1)$$

де K_0 – питомий опір руху агрегату для оранки [3];

V_p – фактична робоча швидкість агрегату для оранки, км/год.

Нами обрана фактична швидкість руху трактора при русі з другою передачею $V_{p2}^3 = 8,8$ км/год., з четвертою – $V_{p4}^3 = 10,6$ км/год. Обрані швидкості відповідають визначеним агротехнічним вимогам – $V_{aep} = 8...12$ км/год.

Ми обрали фактичну швидкість руху трактора при використанні другої передачі – $V_{p2}^3 = 8,8$ км/год, а при четвертій передачі – $V_{p4}^3 = 10,6$ км/год. Зазначені швидкості відповідають встановленим агротехнічним вимогам до виконання оранки, які становлять $V_{aep} = 8...12$ км/год.

$$K_{nl2} = 41 \cdot (1 + 0,006 \cdot (8,8^2 - 5^2)) = 53,9, \text{ кН/м}^2;$$

$$K_{nl4} = 41 \cdot (1 + 0,006 \cdot (10,6^2 - 5^2)) = 62,5, \text{ кН/м}^2.$$

Найбільш можлива ширина захвату одного агрегату складає:

$$B_{\max} = \frac{P_m}{K_{nl} \cdot h_{ob} + g_{nl} \cdot \left(\lambda \cdot f_{mp} + c \cdot \frac{i}{100} \right)}, \text{ м}, \quad (3.2)$$

тут P_m – докладені тягові зусилля трактора,

h_{ob} – глибина оранки;

g_{nl} – маса плуга;

f_{mp} – коефіцієнт, який враховує опір коченню трактора [3];

c – коефіцієнт корекції, який враховує масу ґрунту, що припадає на один робочий орган плуга.

i – кут нахилу місцевості.

Маса плуга, що припадає на 1 метр ширини захоплення усього агрегату:

$$g_{nl} = \frac{G_{nl}}{h_{зах}} = \frac{G_{nl}}{n_{кор} \cdot h_{кор}}, \quad (3.3)$$

$$g_{nl} = \frac{8,0}{5 \cdot 0,35} = 4,6, \text{ кН/м}$$

Найімовірніша ширина захвату:

передача II:

$$B_{\max 2} = \frac{32,987}{53,9 \cdot 0,3 + 4,6 \cdot \left(0,8 \cdot 0,08 + 1,2 \cdot \frac{2,2}{100}\right)} = 1,99;$$

Передача IV:

$$B_{\max 4} = \frac{26,497}{62,5 \cdot 0,3 + 4,6 \cdot \left(0,8 \cdot 0,08 + 1,2 \cdot \frac{2,2}{100}\right)} = 1,38, \text{ м.}$$

Кількість корпусів плуга розрахункова та фактична буде:

$$n_p = \frac{B_{\max}}{B_{кор}}, \quad (3.4)$$

тут $B_{кор}$ –ширина захвату 1-го корпусу,а конструктивна, м.

Число корпусів плуга розрахункове буде:

$$n_{p2} = \frac{1,99}{0,35} = 5,6 \text{ (2-га передача);}$$

$$n_{p4} = \frac{1,38}{0,35} = 3,94 \text{ (4-та передача).}$$

Значення, які ми отримали, округлимо до найменшого цілого числа і будемо мати фактичне число корпусів для плуга:

$$n_{\phi 2} = 5 \text{ (2-га передача);}$$

$$n_{\phi 4} = 3 \text{ (4-та передача).}$$

Наступний вираз визначить робочу ширину захвату орного агрегата:

$$B_p = B_{кор} \cdot \beta \cdot n_{\phi}, \text{ м,} \quad (3.5)$$

тут β – коефіцієнт, який бере до уваги задіяння робочої ширини захоплення всієї машини.

$$B_{p2} = 0,35 \cdot 1,2 \cdot 5 = 2,1 \text{ м, (2-га передача);}$$

$$B_{p4} = 0,35 \cdot 1,2 \cdot 3 = 1,26 \text{ м (4-та передача).}$$

Тоді опір плуга опір плуга, який відчувається під час тяги, буде:

$$R_{пл} = K_{пл} \cdot B_{кор} \cdot h_{об} \cdot n_{кор} + G_{пл} \cdot \frac{i}{100} \cdot c, \text{ кН,} \quad (3.6)$$

Ми матимемо:

$$R_{пл2} = 53,9 \cdot 0,35 \cdot 0,3 \cdot 5 + 8 \cdot \frac{2,2}{100} \cdot 1,2 = 28,5, \text{ кН; (2-га передача);}$$

$$R_{nл4} = 62,5 \cdot 0,35 \cdot 0,3 \cdot 5 + 8 \cdot \frac{2,2}{100} \cdot 1,2 = 19,9, \text{ кН (4-та передача).}$$

Енергія тяги агрегату для здійснення роботи:

$$N_m = \frac{R_{nл} \cdot V_p}{3,6}, \text{ кВт.} \quad (3.7)$$

$$\text{на другій передачі } N_{m2} = \frac{28,5 \cdot 8,8}{3,6} = 69,7, \text{ кВт (2-га передача);}$$

$$\text{на четвертій передачі } N_{m4} = \frac{19,9 \cdot 10,6}{3,6} = 58,6, \text{ кВт (4-та передача).}$$

ККД (коефіцієнт корисної дії) для обох передач буде наступним:

$$\eta_{тяг} = \frac{N_m}{N_e}, \quad (3.8)$$

тут N_e – потужність ефективна [3].

$$\eta_{тяг2} = \frac{69,7}{110,5} = 0,63;$$

$$\eta_{тяг4} = \frac{58,6}{110,5} = 0,53.$$

Проведення технологічної операції оранки на глибину 0,30 м за умови ухилу місцевості 2,2 % за допомогою агрегату, що складається з колісного трактора Т-150 і плуга ПЛН-4-35, передбачає роботу на другій передачі.

3.3. Підготовка поля.

Підготовка поля до роботи з плугом при вирощуванні цукрових буряків має важливі особливості, оскільки ця культура вимоглива до структури ґрунту, його чистоти від бур'янів і глибини обробітку.

Підготовка поля до оранки під цукрові буряки

1. Оцінка попередника та обстеження поля

- найкращі попередники: озимі зернові, зернобобові, кукурудза на силос.
- перевірка поля:
- наявність рослинних решток (солома, стерня);
- бур'яни, особливо кореневі (осот, берізка, свинорий);
- поверхнева щільність і вологість ґрунту;
- наявність каміння, пнів, ям – їх видаляють до оранки.

2. Попередній обробіток перед оранкою

Луцнення стерні:

- через 1–2 дні після збирання попередника;
- глибина: 6–10 см;
- мета: стимуляція проростання бур'янів, подрібнення залишків.

Дискування (за потреби) – при великій кількості рослинних решток.

Хімічне знищення багаторічних бур'янів (при сильному забур'яненні) – гербіциди суцільної дії.

3. Накопичення вологи та структуризація ґрунту

Проведення культивації або коткування (при надмірній розпушеності), щоб забезпечити ущільнення посівного шару.

4. Оранка – основний обробіток ґрунту

- терміни: пізніє літо – початок осені (серпень–вересень).
- глибина оранки: 25–30 см, для формування глибокого рихлого шару.
- плуг: оборотний, з передплужниками, щоб уникнути заривання рослинних решток у верхньому шарі;

– обов'язкове зарівнювання поля після оранки — щоб не було гребенів і плужної підосви.

Регулювання техніки:

- налаштування плуга на рівномірну глибину;
- заточення лемешів, перевірка відвалів, правильна центровка агрегату;
- підготовка трактору: достатня потужність, баластування, тиск у шинах.

6. Післяоранкова обробка (за потреби)

- **боронування** — при сильному грудкуванні;
- **зимове розпушення** – якщо є утворення кірки, ущільнення.

Додаткові рекомендації

- не рекомендується орати надто вологий ґрунт – утворюються грудки;
- на полях з високим вмістом органіки та залишків – використовуйте передплужники.
- оранку під цукрові буряки не варто замінювати менш глибоким обробітком – це знижує врожайність.

Підготовка плужного агрегату до роботи – це критично важливий етап, що забезпечує якісне рихлення, правильне загортання рослинних решток і зменшення витрат пального.

Етапи підготовки плужного агрегату

1. Огляд плуга

Перевірка всіх елементів на знос:

- лемеші — не повинні бути затупленими або зламаними.
- відвали — без тріщин, рівна робоча поверхня.
- передплужники — правильно виставлені по висоті та нахилу.

Очищення від ґрунту та рослинних решток.

Перевірка наявності мастила в рухомих вузлах.

2. Регулювання плуга:

Глибина оранки встановлюється регулювальним колесом або гідравлікою трактора; для цукрових буряків: 25-30 см.

Ширина захвату корпусів виставляється відповідно до ширини колії трактора та потужності; уточнюється в інструкції до плуга.

Горизонтальне вирівнювання

Плуг повинен бути паралельний до поверхні поля:

- у поперечному напрямку – всі корпуси однаково заглиблюються.
- у поздовжньому напрямку – корпуси не "стрибають", робоча глибина стабільна.

Нахил рами (кут атаки): корпуси повинні різати ґрунт під правильним кутом (не завалені назад або вперед); регулюється центральною тягою або заднім гвинтом.

Передплужники встановлюються на 2–5 см мілкіше основного корпусу: призначення – заробка пожнивних решток, гною, бур'янів.

3. Агрегаткування з трактором

- три точки навіски мають бути щільно з'єднані.
- центральна тяга правильно виставлена (без перекосу).
- під'єднання гідравліки — перевірити відсутність витоків.
- баластування трактора — для уникнення пробуксовки.

4. Польова перевірка

провести **контрольний прохід:**

- перевірити глибину всіх корпусів.
- переконатися в повному загортанні рослинних решток.
- перевірити якість перевертання пласта.

при потребі — коригування (висоти, кута нахилу, ширини захвату).

5. Безпека

- заборонено працювати без кожухів, з несправною гідравлікою.
- не проводити регулювання на ввімкненому ВОМ або при піднятій навісці.
- механізатор має пройти інструктаж.

3.4. Організація роботи плужного агрегату в загінці

Організація роботи в загінці має вирішальне значення для якісної, економічної та безперервної оранки. Вона включає планування маршруту руху агрегату, способу оранки, формування поворотних смуг і правильного старту та завершення оранки.

1. Визначення меж загінки

– загінка – це прямокутна ділянка поля, на якій виконується основна частина оранки;

– на великих полях загінку формують поперек довгої сторони поля, щоб скоротити холості пробіги.

– ширина загінки повинна бути кратною ширині захвату плуга × кількість проходів.

2. Формування поворотних смуг

– вздовж країв загінки залишають поворотні смуги (8-12 м), які орудь в останню чергу;

– поворотні смуги забезпечують:

- зручне маневрування агрегату;
- уникнення переущільнення ґрунту колесами на зораному полі.

3. Способи оранки загінки

Існує кілька методів:

Оранка всередину (в розгін)

- спочатку орудь середину загінки, формуючи **гребінь**.
- потім агрегат працює назовні, розширюючи оброблену площу.
- перевага: зручно для ґрунтів, де важливо формувати водоутримуючий мікрорельєф.

Оранка назовні (в загінку)

- починають з країв загінки і просуваються до центру, утворюючи борозну.
- перевага: рівна поверхня поля, краще загортаються рослинні рештки.

Комбінована (впівперекид)

- застосовується з оборотними плугами.

- половина проходів – в один бік, інша – в протилежний.
- головна перевага – немає гребенів і борозен, поле рівне.

4. Розмітка початкових проходів

- перший прохід (розгінна борозна) виконується двома проходами агрегату в протилежних напрямках.
- від неї потім ведеться основна оранка.

5. Контроль за якістю оранки

Під час роботи слід постійно перевіряти:

- глибину оранки;
- якість перевертання пласта;
- відсутність "прогалин" чи "перекриттів";
- рівномірність загортання рослинних решток.

6. Завершення роботи

- після обробітку основної частини загінки — орють поворотні смуги.
- завершення повинно бути охайним — без зворотних борозен чи валів.

Висновок:

Правильно організована робота плужного агрегату в загінці:

- зменшує втрати часу на розвороти;
- забезпечує рівну поверхню поля;
- знижує витрати пального;
- покращує агрофізичні властивості ґрунту.

3.5. Контроль якості роботи.

Контроль якості – це важлива частина технологічного процесу оранки, яка впливає на врожайність культури.

Контроль якості оранки проводиться безпосередньо в полі та включає візуальну оцінку, інструментальні вимірювання і аналіз правильності налаштування агрегату. Це дозволяє забезпечити ефективний обробіток ґрунту і створити сприятливі умови для посіву, зокрема цукрових буряків.

1. Глибина оранки

Норма: 25-30 см для цукрових буряків.

Контроль: проводиться шляхом замірів глибини борозни в декількох точках поперек захвату.

Допустиме відхилення: не більше ± 2 см.

Інструмент: щуп, лінійка, штангенциркуль.

2. Рівномірність оранки

Оцінюється: чи всі корпуси плуга працюють на однаковій глибині.

Ознаки порушення: смуги необробленої землі між проходами або зайве перекриття.

Виправлення: регулювання горизонтального положення рами плуга.

3. Якість перевертання пласта

Критерії:

- повне перевертання і загортання рослинних решток;
- відсутність валиків або відкритих борозен;
- гребінь або борозна не повинні бути надмірно помітні;

Оцінка: візуальна, у випадкових місцях загінки.

4. Структура ґрунту

Ціль: грудки повинні бути середнього розміру (3–5 см).

Оцінюється: ступінь грудкування після оранки.

За потреби: повторне боронування або коткування.

5. Прямолінійність проходів

• **контроль:** за допомогою візуального огляду та GPS/лазерної навігації (якщо є).

• **важливо:** уникати «змійки», яка знижує продуктивність і ускладнює наступні операції (посів).

6. Стан плуга під час роботи

Регулярна зупинка агрегату:

перевірити знос лемешів та передплужників;

перевірити кріплення деталей;

при потребі — очищення від налиплого ґрунту.

7. Оранка поворотних смуг

Важливо, щоб:

- смуги не були переущільнені;
- не було пропусків на краях загінки;
- поворот виконаний без пошкодження ґрунтової структури.

Оформлення результатів контролю

Ведеться **журнал польових робіт** або контрольна відомість:

- дата, площа, глибина оранки;
- ПІБ механізатора;
- стан агрегату;
- зауваження та усунуті недоліки.

Систематичний контроль дозволяє:

- уникнути браку при посіві;
- зменшити витрати на наступні операції;
- підвищити урожайність цукрових буряків.

Технологічний процес і організація механізованого виконання оранки подані у вигляді технологічної карти, що включена до графічної частини проєкту.

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1 Опис об'єкта розробки та обґрунтування модернізації.

Відповідно до тематики кваліфікаційної роботи, що стосується вирощування цукрових буряків, для виконання операції оранки нами обрано начіпний чотирьохкорпусний плуг ПЛН-4-35, зображений на рис. 4.1. Даний плуг призначений для обробітку різноманітних типів ґрунтів на глибину до 30 см на ділянках, вільних від каміння, плитняка та інших перешкод. Питомий опір ґрунту, на якому доцільне його використання, не перевищує 0,09 МПа.

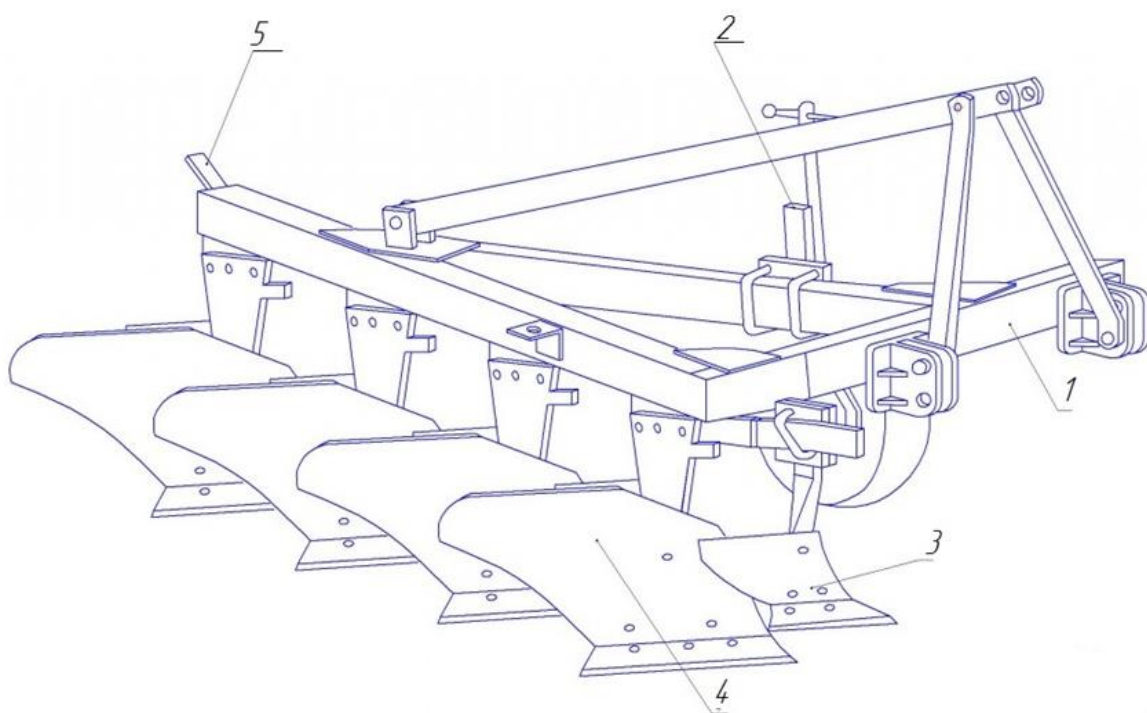


Рис. 4.1. Плуг чотирьохкорпусний начіпний ПЛН-4-35: 1 – рама; 2 – корпус; 3 – світлоповертач; 4 – передплужник; 5 – колесо.

Плуги комплектуються різноманітними пристроями, що дозволяють виконувати додаткові функції, зокрема:

- створення поперечних борозен для затримання талих та дощових вод, що сприяє запобіганню водної ерозії ґрунту на крутих схилах;
- виконання гребенево-ступінчастої оранки на горбистій місцевості;
- формування поперечних борозен на полях із нахилом до 4°;
- утворення заглиблень (лунок) на ділянках із нахилом до 6°.

Цей тип плуга може агрегатуватися з тракторами тягового класу 30 кН. Роботу агрегату забезпечує один тракторист.

Технічні характеристики плуга ПЛН-4-35 подані в додатку А.

Процес оранки відбувається у кілька послідовних етапів. Під час руху плуга дисковий ніж прорізає ґрунтовий пласт у вертикальній площині. За ним передплужник підрізає верхній задернілий шар ґрунту на глибину до 12 см, обертає його і укладає на дно борозни, що утворилась після проходження попереднього корпусу. Основний корпус піднімає нижній шар ґрунту, який вкладається поверх скинутого верхнього шару, що забезпечує повне загортання бур'янів і пожнивних решток, сприяючи якісному перемішуванню шарів та поліпшенню структури обробленого поля.

Основні складові плуга докладно описані в додатку Б.

Передплужник монтується попереду основного корпусу і призначений для підрізання й підняття ущільненого верхнього шару ґрунту, який втратив свою структуру. Цей шар має товщину 8-12 см і ширину близько двох третин загальної ширини захвату корпусу. Після підрізання передплужник обертає цей шар і укладає його на дно борозни [3].

Основний корпус, розміщений за передплужником, обробляє решту шару ґрунту: він його підрізає, піднімає, обертає й розпушує. У результаті цей шар накриває попередньо укладений передплужником, що забезпечує якісне загортання рослинних решток та повну заміну поверхневого деградованого шару на нижній структурований.

Проте варто зазначити, що використання стандартних передплужників спричиняє збільшення тягового опору плуга приблизно на третину, а також може призводити до небажаного ущільнення ґрунту через контакт із робочою

поверхнею передплужника.

Нами пропонується замінити стандартний передплужник на плузі ПЛН-4-35 на голчатий передплужник оригінальної конструкції. Таке технічне рішення дозволяє підвищити ефективність роботи плуга за рахунок зменшення сили тертя. Це досягається завдяки встановленню передплужників у вигляді розпушувальних голок, які розміщені радіально та вертикально під гострим кутом до напрямку руху плуга, що забезпечує оптимальний тиск робочого органу на ґрунт.

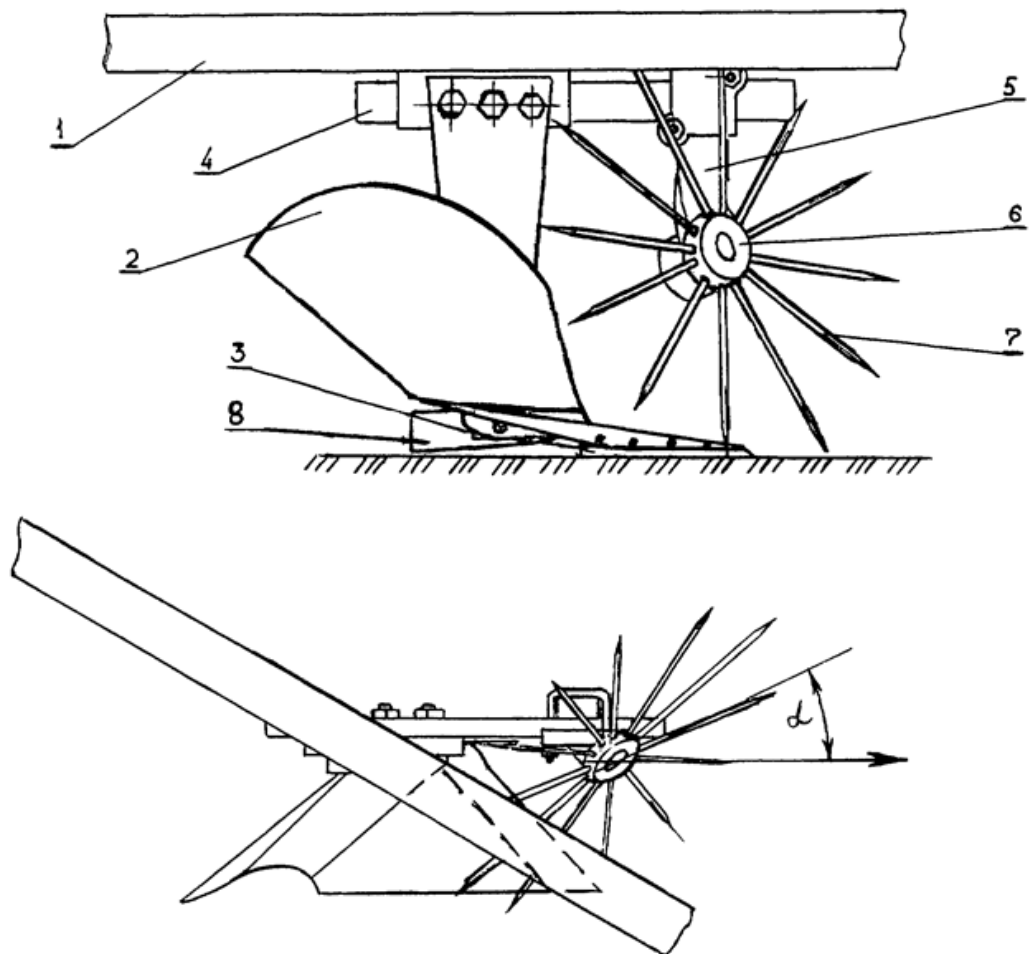


Рис. 4.2. Корпус з голчатим передплужником: 1 – рама; 2 – відвал; 3 – леміш; 4 – державка; 5 – стійка; 6 – маточина; 7 – розпушувальні голки; 8 – польова дошка.

Використання голчатих передплужників у конструкції плуга сприятиме зниженню тягового опору знаряддя шляхом заміни традиційних дисків на розпушувальні голки. Це також зменшить бічний тиск польових дошок на ґрунт. Перед корпусами плуга ґрунт проколюється голками, розбивається та розхитується, подібно до дії вил при ручному скопуванні. Вертикальне навантаження передається на голчаті диски, розташовані перед кожним корпусом. Під час руху плуга робоча частина переміщується по голках, завдяки чому ґрунт не ущільнюється й не прикочується, оскільки розпушення відбувається безпосередньо перед корпусами.

Модернізований плуг функціонує наступним чином:

Лемеші та відвали, як і в традиційних конструкціях, розпушують і перевертають ґрунт, однак завдяки попередній дії розпушувальних голок обробка відбувається не з монолітною масою, а з уже частково подрібненим ґрунтом. Ці голки розміщені перед лемешами під певним кутом до напрямку руху плуга і перекочуються під час роботи.

Розпушувальні голки виконують складний рух – одночасно у поперечному й поздовжньому напрямках, завдяки чому розколюють і розхитують ґрунт перед лемешами. Це також спричиняє легке бокове зміщення плуга, що знижує бічний тиск польових дошок на ґрунт.

За рахунок опори плуга на голки зменшується вертикальне навантаження на опорне колесо та лемеші, що своєю чергою знижує утворення плужної підшви.

Такий спосіб обробітку ґрунту сприяє зменшенню загального тягового опору плуга завдяки зниженню тертя з боку польових дошок та опору перекочування опорного колеса. Попередньо розпушений ґрунт легше захоплюється лемешами.

Встановлення голчастих дисків під кутом α до напрямку руху та правильний розрахунок конструктивних параметрів плуга забезпечують стійкий і прямолінійний рух агрегату.

4.2. Технологічний розрахунок.

Дійсна ширина захвату плуга буде:

$$B = \frac{\eta P_t}{ak} \quad (4.1)$$

η – показник ефективності використання тягового зусилля колісного трактора;

P_t – сила тяги, яку розвиває колісний трактор;

a – величина глибини обробки ґрунту;

k – величина питомого опору ґрунту.

$$B = \frac{0,9 \cdot 2890}{24 \cdot 50} = 1,735 \text{ м.}$$

Обираємо $B=1,75$ м.

Розрахуємо масу плуга, виходячи з питомої металоемності на кожен метр ширини захвату.

$$G_{\text{п}} = q_{\text{п}} B \quad (4.2)$$

тут: $q_{\text{п}}$ – питома металомісткість, кг/м

$$G_{\text{п}} = 406 \cdot 1,75 = 710,5 \text{ кг.}$$

Для забезпечення більш повного та якісного підрізання пласта ґрунту, знищення кореневої системи бур'янів, а також з метою уникнення огріхів під час оранки, ширину захвату лемеша корпусу слід збільшити на величину перекриття Δb (див. рис. 4.3).

З урахуванням конструктивних особливостей модернізованого плуга ПЛН-4-35, значення Δb приймаємо рівним 25 см [4].

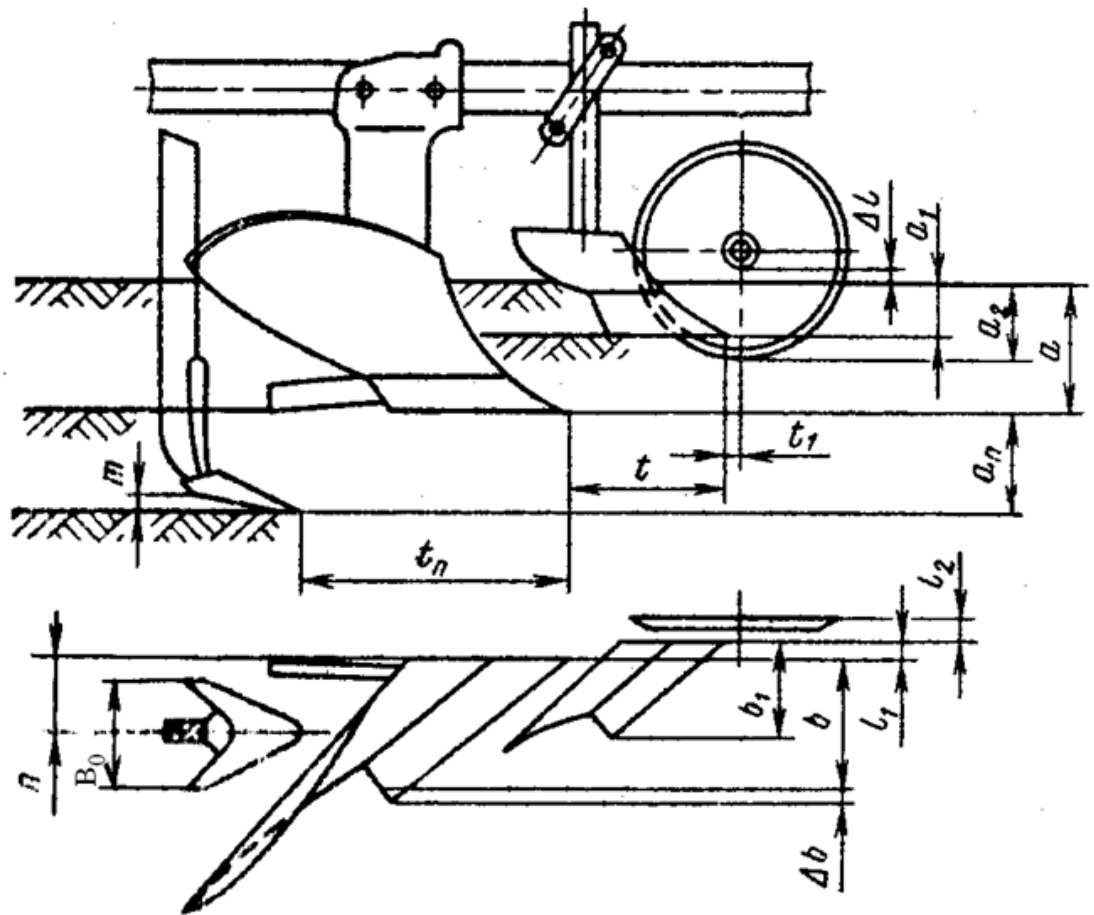


Рис. 4.3. Схема розстановки робочих органів

Ширину захвату передплужника визначимо наступним чином:

$$B_1 = \frac{2B}{3} \quad (4.3)$$

$$B_1 = \frac{2 \cdot 35}{3} = 23 \text{ см}$$

глибина обробітку при цьому складає $a_1=10$ см.

На рамі передплужник монтується таким чином, щоб відстань t від його носка до носка основного корпусу становила 250 мм. Це забезпечує роздільне переміщення шарів ґрунту з робочих поверхонь передплужника та корпусу, запобігаючи їхньому змішуванню та виключаючи ризик забивання плуга.

Наступні міркування дадуть можливість зорієнтувати розстановку корпусів на рамі плуга (рис. 4.4).

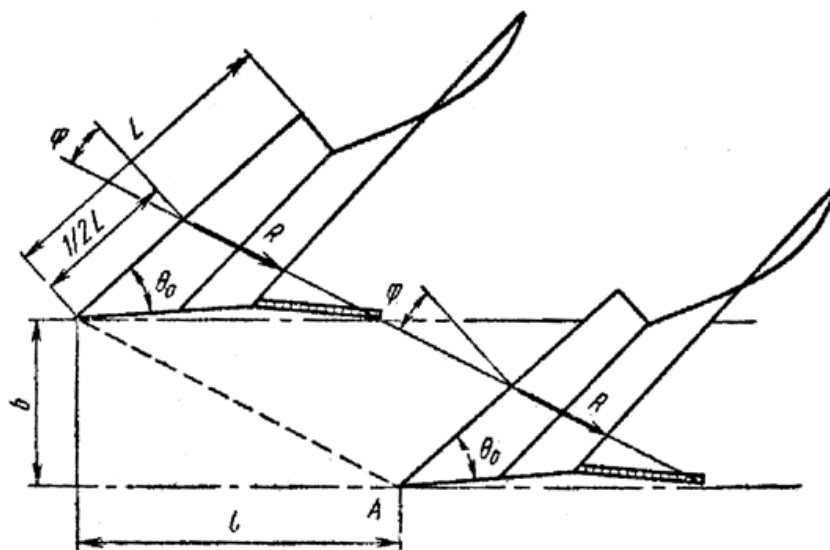


Рис. 4.4. Схема розстановки корпусів у повздовжньому напрямку

Під час руху корпусу виникає сила опору різанню ґрунту R , яка діє в межах довжини леза лемеша — умовно на відстані $L/2$ від його початку. Ця сила орієнтована під певним кутом тертя до площини, перпендикулярної до леза, однак для спрощення приймемо, що R спрямована перпендикулярно до леза лемеша.

Сила R передається на стінку борозни в місці розташування п'ятки польової дошки заднього корпусу. Якщо провести пряму дії сили R через носок переднього лемеша, отримаємо точку перетину A з протилежною (прийдешньою) стінкою борозни, де буде розміщений носок наступного корпусу. Це дозволяє визначити оптимальне положення корпусів у поперечному перерізі для забезпечення стабільної роботи агрегату.

Тобто, у повздовжньому напрямку корпуси плуга будуть розставлені наступним чином:

$$l = vtg(\theta_0 + \varphi) \quad (4.4)$$

тут: θ_0 — кут, під яким леміш взаємодіє зі стінкою борозни;

φ – кут взаємодії ґрунту та металу лемеша.

$$l=35 \cdot \text{tg}(38+25)=750 \text{ мм.}$$

Рама плуга розташовується над опорною площиною корпусів на такій висоті, яка забезпечує вільне піднімання, обертання та проходження шару ґрунту під рамою під час формування першої борозни. Це необхідно для запобігання забиванню плуга та забезпечення безперешкодної роботи на початковій стадії оранки.

Глибину борозни визначимо так:

$$H=v+2a/3. \quad (4.5)$$

$$H=35+\frac{2 \cdot 24}{3} = 51 \text{ см.}$$

Згідно з вимогами ДСТУ 2416-94 «Плуги загального призначення та лущильники лемішні. Загальні технічні умови», для плугів із шириною захвату одного корпусу 35 см нормативне значення параметра H (відстань між лемішами у поперечному напрямку) становить 54 см.

Дорожній просвіт h – це вертикальна відстань від носка леміша переднього корпусу до опорної площини колісного трактора. Для начіпних плугів дане значення приймається в межах 30-40 см.

При монтажі опорного колеса начіпного плуга ПЛН-4-35 слід враховувати як оптимальний розподіл навантаження, що передається з плуга на енергетичний засіб, так і стабільність заглиблення робочих органів. З цією метою колесо розміщують на відстані, яка становить приблизно одну третину довжини між носками лемішів переднього і заднього корпусів плуга. Це забезпечує рівномірну роботу всіх корпусів по глибині обробітку.

4.3. Кінематичний розрахунок.

Кінематичний і силовий аналіз начіпного механізму плуга ПЛН-4-35 подано в дод. В. У цьому розділі розглянуто умови взаємодії елементів начіпної системи з тяговим агрегатом, з урахуванням силового навантаження, положення центра ваги плуга та розподілу реакцій у шарнірах. Аналіз дозволяє забезпечити стійкість агрегату в роботі, оптимальну глибину заглиблення корпусів, а також зменшення втрат потужності завдяки правильному налаштуванню геометрії начіпної системи.

4.4. Силовий аналіз механізмів машини.

Розрахунок корпусу лемішного плуга

На корпус (рис. 4.5) у горизонтальній площині діє сила R_{xy} , яка прикладена до леза лемеша на віддалі ℓ від стінки борозни і рівна $0,4b$. Нами буде визначено кут, що утворений лінією дії сили R_{xy} і напрямком руху корпусу плуга [8]:

$$\eta = 90^\circ - (\Theta_0 + \varphi) \quad (4.6)$$

тут: Θ_0 – кут нахилу ріжучої кромки лемеша відносно польового обрізу корпусу плуга;

φ – кут тертя по сталі ґрунту.

$$\eta = 90^\circ - (36 + 26) = 28^\circ.$$

Силу R_{xy} знаходимо з емпіричної залежності

$$R_{xy} = 1,2 \div 0,7 P_T = 1,5 \cdot 20 = 30 \text{ кН}. \quad (4.7)$$

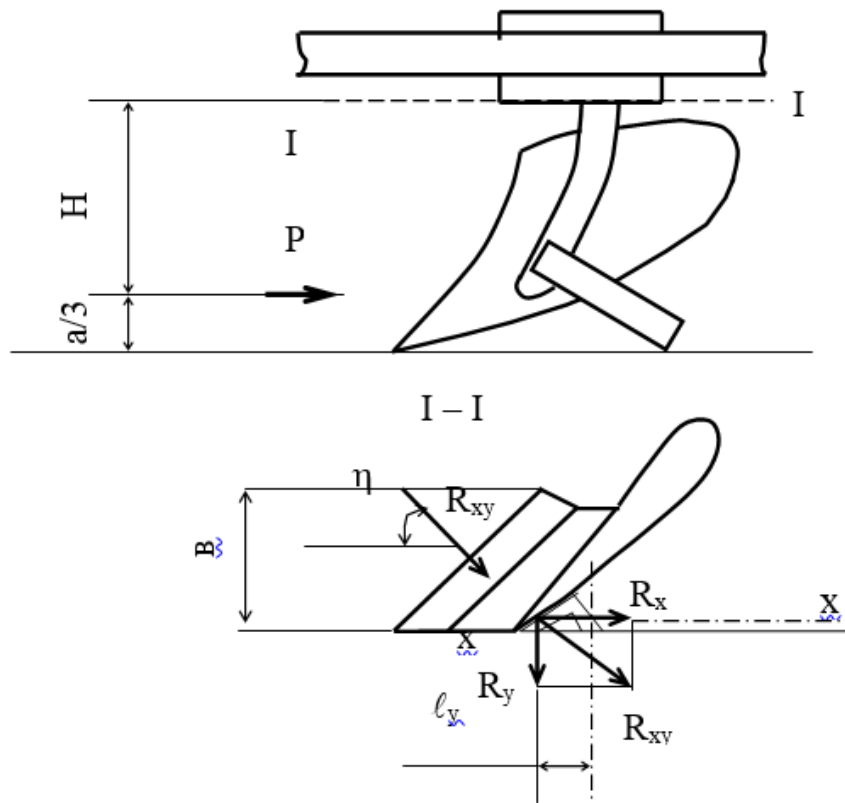


Рис. 4.5 Схема сил, що діють на корпус

При розрахунку стояка на міцність, ми точку докладання аварійного зусилля переносимо в точку перетину сили P_{xy} з головною віссю перерізу стояка, і розкладаємо силу P_{xy} на наступні складники:

$$P_x = P_{xy} \cdot \sin(\Theta_0 + \varphi). \quad (4.8)$$

$$P_x = 30 \cdot \sin(45^\circ + 30^\circ) = 28,98 \text{ кН.}$$

$$P_y = P_{xy} \cdot \cos(\Theta_0 + \varphi). \quad (4.9)$$

$$P_y = 30 \cdot \cos(45^\circ + 30^\circ) = 7.76 \text{ кН}$$

Такі згинальні моменти діятимуть у небезпечній зоні перерізу I-I стояка корпусу плуга

$$M_x = P_{xy} \cdot \sin(\Theta_0 + \varphi) \cdot H = P_x \cdot H. \quad (4.10)$$

$$M_x = 28,98 \cdot 0,3 = 8,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$M_y = P_{xy} \cdot \cos(\Theta_0 + \varphi) = P_y \cdot H. \quad (4.11)$$

$$M_y = 7,76 \cdot 0,3 = 2,3 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Крутний момент, який буде діяти від сили P_y буде таким:

$$M_{кр} = P_{xy} \cdot \cos(\Theta_0 + \varphi) \cdot l. \quad (4.12)$$

$$M_{кр} = 7,76 \cdot 0,35 = 3,0 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Геометричні параметри стояка корпусу подано на рис. 4.6.

$I_1 = 375 \text{ см}^4$, $I^2 = 504 \text{ см}^4$ – момент інерції стосовно головних вісей;

$W_k = 210 \text{ см}^3$ – момент опору перерізу при крученні.

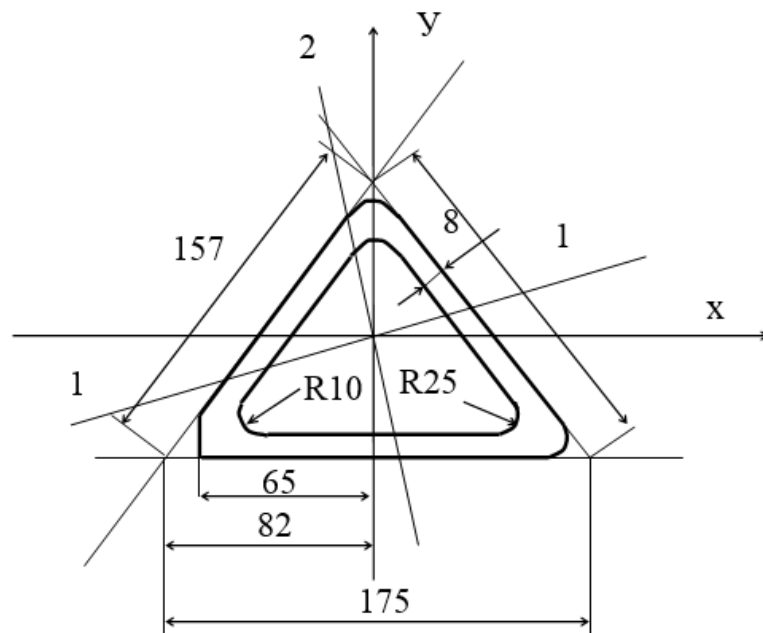


Рис. 4.6. Переріз стояка плужного корпусу

Стійка плужного корпуса зазнає косоного згину та кручення.

Найбільші напруження розтягування на передній межі стійки можуть досягати величини:

$$\sigma_2 = \frac{M_{ц.маx} \cdot \cos 13^\circ \cdot u}{I_2} + \frac{M_{х.маx} \cdot \sin 13^\circ \cdot u}{I_2} \quad (4.13)$$

тут u – віддаль між передньою площиною стійки та віссю два.

$$\sigma_2 = \frac{23000 \cdot 0,975 \cdot 8,2}{504} + \frac{8700 \cdot 0,2221 \cdot 5,2}{504} = 679 \text{ кг/см}^2$$

Обчислимо нормальне напруження, яке виникає в стояку внаслідок згину у площині поперечній:

$$\sigma_2 = \frac{M_{ц.маx} \cdot \sin 13^\circ \cdot v}{I_1} + \frac{M_{х.маx} \cdot \cos 13^\circ \cdot v}{I_1} \quad (4.14)$$

де v – віддаль від лівої бокової площини стояка до осі один.

$$\sigma_2 = \frac{23000 \cdot 0,975 \cdot 4,2}{375} + \frac{8700 \cdot 0,2221 \cdot 4,2}{375} = 893 \text{ кг/см}^2$$

Дотичні напруження максимальні, що виникають у корпусі стояка під час кручення:

$$\tau = \frac{M_{кр.маx}}{W_k} \quad (4.15)$$

де $M_{кр.маx}$ – збільшення крутного моменту при зіткненні з перешкодою.

$$M_{кр.маx} = 20000 - 30000 \text{ кг}\cdot\text{см.}$$

$$\tau = \frac{30000}{210} = 143 \text{ кг/см}^2.$$

Розраховані приведені напруження набувають наступних значень:

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau^2}. \quad (4.16)$$

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{679^2 + 4 \cdot 143^2} = 737 \text{ кг/см}^2.$$

$$\sigma_{\text{пр}} < [\sigma].$$

Умова міцності дотримується.

4.5. Енергетичний розрахунок.

На зусилля, необхідне для переміщення плуга під час оранки, впливають численні чинники. До них належать властивості ґрунту – зокрема, його тип, вологість, щільність і рівень однорідності оброблюваного шару. Важливу роль відіграє також конструкція самого плуга: особливості будови корпусів і робочих органів, матеріал, з якого виготовлено їхню робочу поверхню, а також тип і розміщення опорних коліс.

На енергетичні витрати суттєво впливають технологічні параметри, зокрема: глибина обробки, робоча ширина захвату плуга та швидкість руху агрегату. Оскільки ґрунтові умови часто є неоднорідними, то під час виконання оранки можуть змінюватися як глибина занурення робочих органів, так і швидкість руху агрегату. Внаслідок цього тяговий опір плуга в процесі роботи має випадковий характер і змінюється в певному діапазоні значень.

Згідно з класифікацією академіка В.П. Горячкіна, загальний тяговий опір плуга включає опори трьох різних класів.

Опір першого класу пов'язаний із дією нормального тиску, тобто пропорційний силі ваги.

$$R_1 = f \cdot G \quad (4.17)$$

f – коефіцієнт пропорційності;

G – сила ваги.

Опір другого класу виникає внаслідок деформації ґрунтового шару під час обробітку. Відповідно до основного закону опору матеріалів, цей тип опору може бути прямо пропорційним площі поперечного перерізу шару ґрунту, який піддається деформації

$$R_2 = k_0 \cdot a \cdot b \cdot n, \quad (4.18)$$

k_0 – питомий опір ґрунту;

a та b – глибина зораності та ширина оброблюваного шару ґрунту, відповідно;

n – число корпусів у плугові.

Опір третього класу зумовлений передачею кінетичної енергії частинкам ґрунтового шару в процесі його обробітку. Такий опір, що виникає на корпусі плуга, визначається як величина, пропорційна площі поперечного перерізу зрізаного шару ґрунту та квадрату швидкості руху плуга.

$$R_3 = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2 \quad (4.19)$$

де V – швидкість власне плуга;

ε – коефіцієнт опору руху, зумовлений швидкістю, залежить від конструктивної форми корпусу плуга та властивостей ґрунту.

Тобто, тяговий опір плуга складе:

$$R_x = R_1 + R_2 + R_3 = f \cdot G + k_0 \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2. \quad (4.18)$$

$$R_x = 0,5 \cdot 675 + 0,3 \cdot 0,3 \cdot 0,35 \cdot 4 + 1700 \cdot 0,3 \cdot 0,35 \cdot 2,5 = 783,78 \text{ Н}$$

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Характеристика та аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі з плугом ПЛН-4-35

Під час роботи з плугом ПЛН-4-35 можуть виникати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які пов'язані як з особливостями його конструкції, так і з умовами експлуатації. Нижче подано основні з них:

1. Механічні небезпеки

Травмонебезпечні частини: Плуг має багато гострих і рухомих елементів (лемеші, ножі, диски), які можуть спричинити порізи, удари або защемлення при обслуговуванні або регулюванні без вимкнення техніки.

Небезпека наїзду та притискання: При неправильному приєднанні або від'єднанні плуга до трактора можливе защемлення частин тіла або перекидання.

Ризик обриву зчипки: При перевищенні тягових навантажень може виникнути обрив елементів навісної системи, що створює загрозу для оператора.

2. Фізичні фактори

Вібрація та шум: При русі по полю трактор з плугом створює вібрації і шум, які негативно впливають на здоров'я оператора, особливо при тривалому впливі.

Підвищене запилення: Під час оранки в суху погоду утворюється пил, що подразнює дихальні шляхи та очі.

3. Хімічні фактори

Залишки мінеральних добрив і ЗЗР: На оброблюваних полях можуть бути залишки хімічних речовин, що потрапляють у повітря при обробці ґрунту, спричиняючи подразнення або алергічні реакції.

4. Психофізіологічні фактори

Монотонність роботи: Тривала однотипна робота знижує увагу та підвищує ризик помилок.

Напруженість і втома: Керування трактором із плугом потребує концентрації уваги та фізичних зусиль, особливо на нерівному рельєфі.

5. Кліматичні фактори

Висока температура та сонячне випромінювання: Під час роботи в літній період можливий перегрів організму оператора.

Опади та слизька поверхня: Робота в дощову погоду підвищує ризик ковзання техніки та погіршує огляд.

Для зниження впливу небезпечних та шкідливих факторів необхідно:

- дотримуватись вимог інструкцій з охорони праці;
- проводити технічне обслуговування плуга та трактора перед кожною зміною;
- застосовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ);
- забезпечити якісну підготовку та інструктаж оператора;
- дотримуватися безпечної швидкості руху та технологічних параметрів оранки.

5.2. Організація сприятливих санітарно-гігієнічних умов для безпечної праці з модернізованим плуговим агрегатом

Для забезпечення безпечних та комфортних умов праці механізатора при роботі з модернізованим плугом у складі агрегату з трактором необхідно дотримуватись ряду санітарно-гігієнічних вимог:

1. Кабіна трактора повинна бути герметичною, забезпечена ефективною вентиляцією, системою опалення та кондиціонування повітря (за потреби). Це дозволяє знизити вплив шуму, пилу, вібрацій та температурних коливань.

2. Шумове навантаження в кабіні має не перевищувати допустимі норми згідно з ДСТУ. Для цього використовуються звукоізолюючі матеріали та гумові амортизатори на кріпленнях.

3. Вібрація, що передається на водія через сидіння і кермо, повинна бути мінімізована завдяки використанню амортизованих сидінь,

регульованих по висоті та куту нахилу.

4. Освітлення робочого простору повинне бути достатнім для роботи в умовах недостатньої природної освітленості. На тракторі передбачено встановлення фар ближнього і дальнього світла, а також додаткових ліхтарів для контролю за роботою плуга.

5. Повітря в кабіні має бути очищене від пилу за допомогою фільтраційних систем. Це особливо важливо під час оранки сухого ґрунту, де рівень запиленості може бути підвищеним.

6. Температурні умови: під час роботи в умовах високих або низьких температур необхідно забезпечити відповідний мікроклімат у кабіні шляхом включення опалювача або кондиціонера.

7. Особиста гігієна та спецодяг: працівник повинен бути забезпечений відповідним спецодягом, рукавицями, засобами індивідуального захисту (при необхідності), а також мати доступ до побутових приміщень на базі (душ, роздягальні, санвузли).

8. Раціональний режим праці та відпочинку: для уникнення перевтоми повинні бути організовані періодичні перерви, а робочий день не має перевищувати встановлені норми.

Комплексне виконання вищевказаних заходів сприятиме зниженню рівня професійного ризику, покращенню продуктивності праці та збереженню здоров'я працівників при експлуатації модернізованого плуга.

6. ВИСНОВКИ

У межах даної кваліфікаційної роботи було обрано для удосконалення сільськогосподарське знаряддя – плуг ПЛН-4-35, який застосовується в технології вирощування однієї з ключових культур агропромислового комплексу – цукрових буряків.

Проведено аналіз існуючої технології вирощування цукрових буряків, визначено шляхи її покращення та оптимізації.

Запропоновано вдосконалений варіант виконання оранки ґрунту із застосуванням модернізованого агрегату, до складу якого входить трактор Т-150 та плуг ПЛН-4-35. Такий агрегат здатен якісно здійснювати основний обробіток ґрунту, забезпечуючи ефективність технологічного процесу й сприяючи покращенню умов вирощування буряків.

Інженерна частина роботи присвячена технічному аналізу обраного знаряддя та опису виконання ним технологічної операції. В рамках модернізації конструкції плуга було впроваджено заміну стандартного передплужника на спеціально розроблений голчатий варіант.

Це рішення дозволяє підвищити якість оранки, зменшити тягове навантаження на трактор та загалом покращити енергоефективність агрегату. Конструкція плуга відповідає нормативним вимогам чинних ДСТУ, що підтверджує його придатність до практичного використання в польових умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту: навч. посібник / М. С. Чернілевський, Ю. А. Білявський, Р. Б. Кропивницький, Л. І. Ворона. – вид. 2-ге, допов. – Житомир: вид-во «Житомирський національний агроєкологічний університет», 2012. – 84 с.
2. Войтюк Д. Г., Барановський В. М. Сільськогосподарські машини. К., Вища школа, 2005. – 434с.
3. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Укл.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, О.В. Бевз, С.О. Магопець. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 99 с.
4. Організація праці: навч. посіб. / В. М. Данюк, А. С. Тельнов, С. Л. Решміділова [та ін.]; за ред. В. М. Данюк. К.: КНЕУ, 2009. – 333 с.
5. Сисолін П. В., Рибак Т. Г. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи. Конструкція. Проектування. – К. Урожай, 2002. – 358с
6. Сисолін П.В. та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладн. с.-г. вир-ва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М, Сало, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.: іл.
7. Технологія механізованих робіт в рослинництві. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напряму підготовки 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» / Укладачі: В.М. Сало, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, Д.І. Петренко, П.Г. Лузан – Кіровоград: КНТУ, 2014. – 136 с.
8. Шмат К. І., Сисолін П.В. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин. Херсон, 2004. 324 с.

ДОДАТКИ

Технічна характеристика плуга ПЛН-4-35

Найменування	Одиниця вимірювання	Значення
Продуктивність за 1 год. основного часу при комплектації корпусами для роботи на швидкостях 5-7 км/год 7-9 км/год	га/год.	0,76-0,98 0,98-1,26
Робоча швидкість на основних операціях	км/год.	5-9
Глибина оранки	см	20-30
Відстань від опорної площини корпусів до нижньої площини рами, не менше	мм	620
Відстань між корпусами по ходу	мм	800±25
Кількість корпусів	шт.	4
Ширина захвата корпуса	мм	350±15
Ширина захвата передплужника	мм	230±4
Маса машини суха (конструктивна) з комплектом робочих органів для виконання основної технологічної операції	кг	710±3%
Маса машини з повним комплектом робочих органів, запасних частин і пристосувань	кг	775±3%
Трудомісткість складання агрегату	люд.-год.	0,15
Радіус повороту по крайній зовнішній точці, не більше	м	8,8
Габаритні розміри плуга довжина ширина висота	мм	3600±70 1730±35 1500±30
Строк служби	років	8
Гарантійний строк служби	років	2
Дорожній просвіт, не менше		250

Основні складальні одиниці плуга

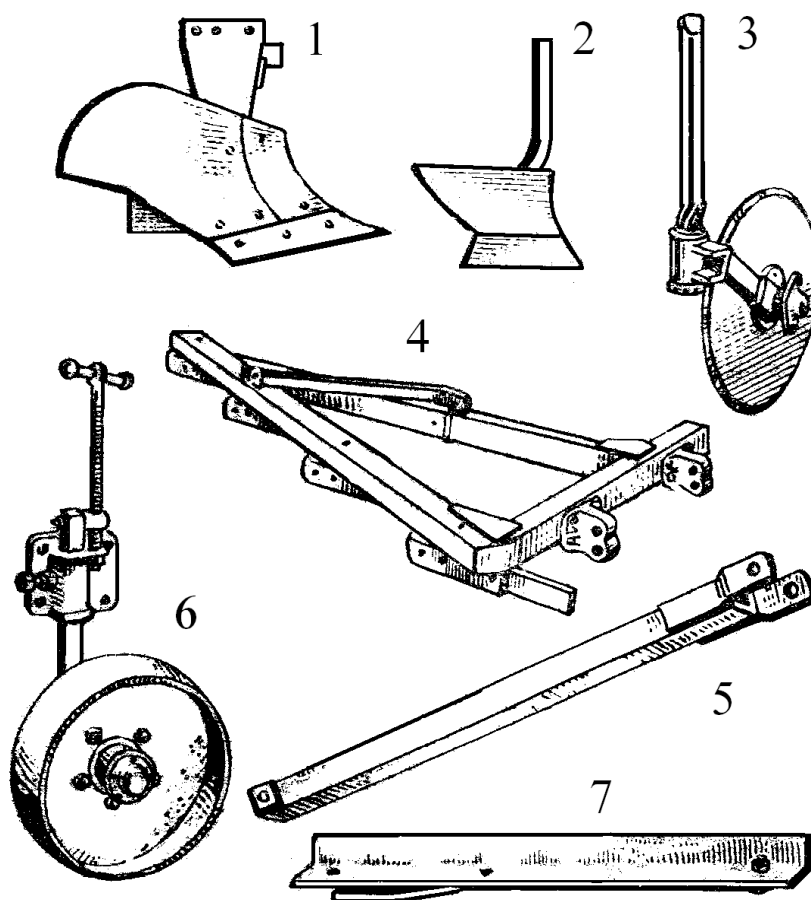


Рис. 1. Основні складальні одиниці плуга: 1 – корпус;
2 – передплужник; 3 – дисковий ніж; 4 – рама; 5 – розкос; 6 – колесо;
7 – причіпка для борін.

Рама – плоска, зварна, складається з брусів (основного, поздовжнього і поперечного), які зварюються між собою за допомогою косинок.

Корпус складається зі стійки, до якої кріпиться башмак з лемешем, полицею та польовою дошкою. Завдяки своїй конструкції він може бути швидкісним, вирізним, напівгвинтовим, безполицевим, культурним з ґрунтопоглиблювачем, причому заміняється тільки башмак із зібраними на ньому лемешем, полицею і польовою дошкою. Це значно розширює область застосування плуга.

Передплужник являє собою невеликий корпус з культурною робочою поверхнею. Призначений для загортання рослинних залишків.

Колесо служить для установки і регулювання глибини оранки. На стійці нанесені мітки для орієнтування при установці глибини оранки. Колесо складається із обода з диском, стійки з кронштейном, державки і ступиці, в яку входить на піввісь.

Дисковий ніж служить для розрізання скиби і створення рівного обрізу борозни. Це полегшує водіння агрегату. Ніж обертається на двох роликівих підшипниках. Для запобігання підшипника від потрапляння пилу в ковпачок запресований сальник, який складається із повстяного кільця і гумової манжети, стягнутої пружиною.

Причіпка для борін служить для одержання одночасного з оранкою боронування.

Начіпка складається із стійок, розкосу і понижувачів. До верхніх отворів стійок кріпиться верхня тяга механізму начіпки трактора. Нижні тяги трактора приєднуються до пальців, закріплених в понижувачах рами.

Кінематичний і силовий аналіз начіпки плуга.

Вимоги, запропоновані до начіпки плуга на трактор:

- забезпечення самозаглиблення корпусів у ґрунт при переході із транспортного положення в робоче, а також рівноваги ходу на заданій глибині оранки при зношених лемешах;
- зусилля на опорному колесі не повинно бути занадто великим, щоб не було підвищеного зносу деталей маточини, а також руйнування обода колеса;
- плуг не повинен викликати помітного зниження керованості трактора за рахунок перерозподілу зчіпної ваги по площі опору гусениць трактора;
- від розподілу приєднуючих елементів начіпки плуга залежить його здатність до самозаглиблення, рівновага ходу по глибині, ступінь копіювання рельєфу поля і довговічність робочих органів;
- параметри начіпки повинні забезпечити заглиблюваність плуга під час роботи на щільних ґрунтах. При цьому запас заглиблюваної здатності повинен бути мінімальним.

У відповідності з цим вирішуємо дві задачі:

Виходячи із кінематичного аналізу схеми начіпки і плуга-аналога на трактор, визначимо граничний кут ψ (кут, який утворює рівнодійна R_{zx} повздовжньої R_x і вертикальної R_z сил з віссю Ox на корпусі) для даної системи начіпки (плуга-аналога).

Емпіричним пошуком знайдемо можливу зміну положення ланок начіпки, тобто такого положення миттєвого центру обертання плуга, при якому забезпечується виконання вимоги до начіпки, але при можливо мінімальних значеннях кута ψ . Кут ψ змінюється в межах $\pm 12^\circ$ (рис. 1, 2).

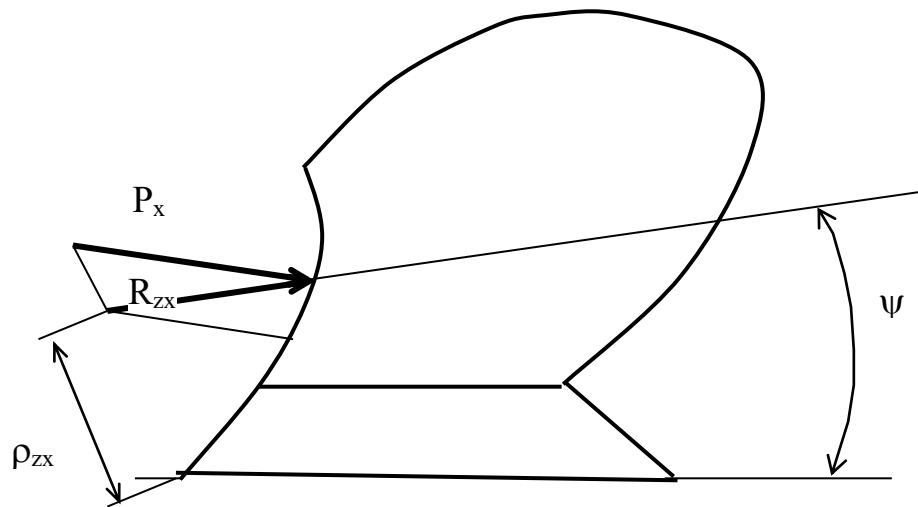


Рис. 1. Схема сил, діючих на корпус у вертикально-повздовжній площині при затуплених лемішах.

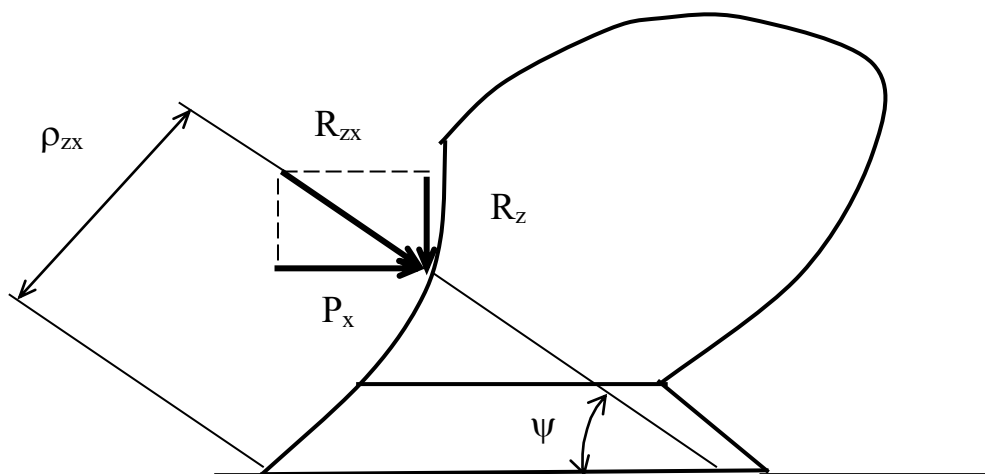


Рис. 2. Схема сил, діючих на корпус із гострими лемішами.

У робочому положенні у вертикально-повздовжній площині на плуг діють наступні сили (рис. 3) – вага плуга G_n , приведений до середнього корпусу плуга R_{xz} , сила тертя польових дошок об стінку борозни F_x .

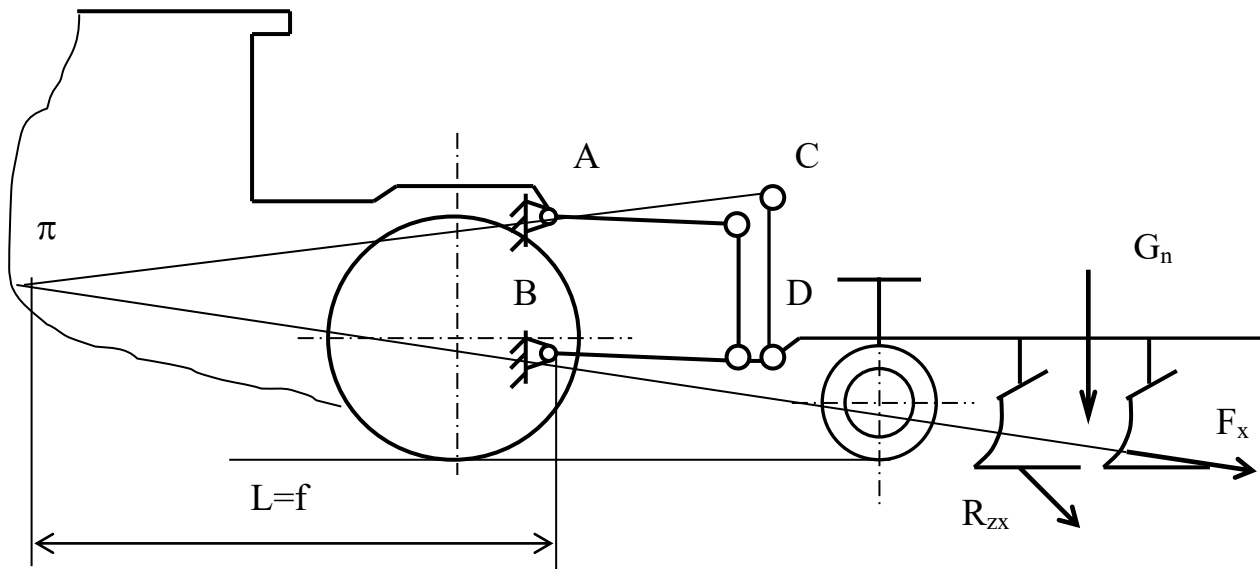


Рис. 3. Схема сил, діючих на плуг у поздовжньо-вертикальній площині під час роботи.

Рівнодіюча всіх цих сил P_1 створюється відносно миттєвого центра обертання π системи, момент, який обумовлює заглиблюючу здатність плуга, урівноважується заглиблюючою реакцією, яка виникає на опорному колесі.

Положення π – визначає два параметри: l – плече дії сили P_1 відносно π , і f – відстань від осі задніх коліс трактора.

Визначення граничного кута ψ .

Дослідивши кінематичну схему начіпки плуга-аналога на трактор Т-150К (по кресленню кінематичної схеми і плану сил для затуплених лемешів), визначаємо граничне значення кута ψ , яке у нашому випадку $\psi=0$.

Транспортний просвіт плуга вимірюється на кінематичній схемі між нижньою точкою плуга і поверхнею поля (дорівнює 540 мм). Оскільки, по агротехнічним вимогам, пред'явленим до плуга, транспортний просвіт повинен бути не меншим 350 мм [4], маємо можливість конструктивно змінити авто-начіпку – ланку CD (рис. 3.10) відносно плуга в роботі (ланку CD автоначіпки підвищуємо відносно плуга) без погіршення заглиблюючої здатності плуга, однак для менших значень кута ψ ($\psi>0$), або – для більш затуплених лемешів, ніж для плуга-аналога.

По визначенню граничного кута ψ ми виявили можливість зміни положення автоначіпки.

Визначення нового положення автоначіпки.

Визначаємо такий кут нового положення миттєвого центра обертання π , при якому кут ψ , створений силою R_{zx} з віссю Ox , буде значно меншим, ніж у плуга-аналога.

Положення π задаємо двома координатами L і f (рис. 3 і 4).

Сила опору плуга, приведена до середини корпусу

$$R_{zx} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} \quad (1)$$

де $R_x = \eta b k n$ – повздовжня складова;

$\eta=0,7$ – КПД плуга;

a і b – розміри перерізу пласта ґрунту;

$k=0,9$ кг/см² – питомий опір ґрунту;

n – число корпусів.

Необхідно переконатися, що

$$R_x = (0,85 \dots 0,9) P_{тр} \quad (2)$$

де $P_{тр}$ – тяговий опір трактора на передачі коробки зміни передач не нижче другої;

R_{zx} – вертикальна складова

$$R_{zx} = \pm 0,2 R_x \quad (3)$$

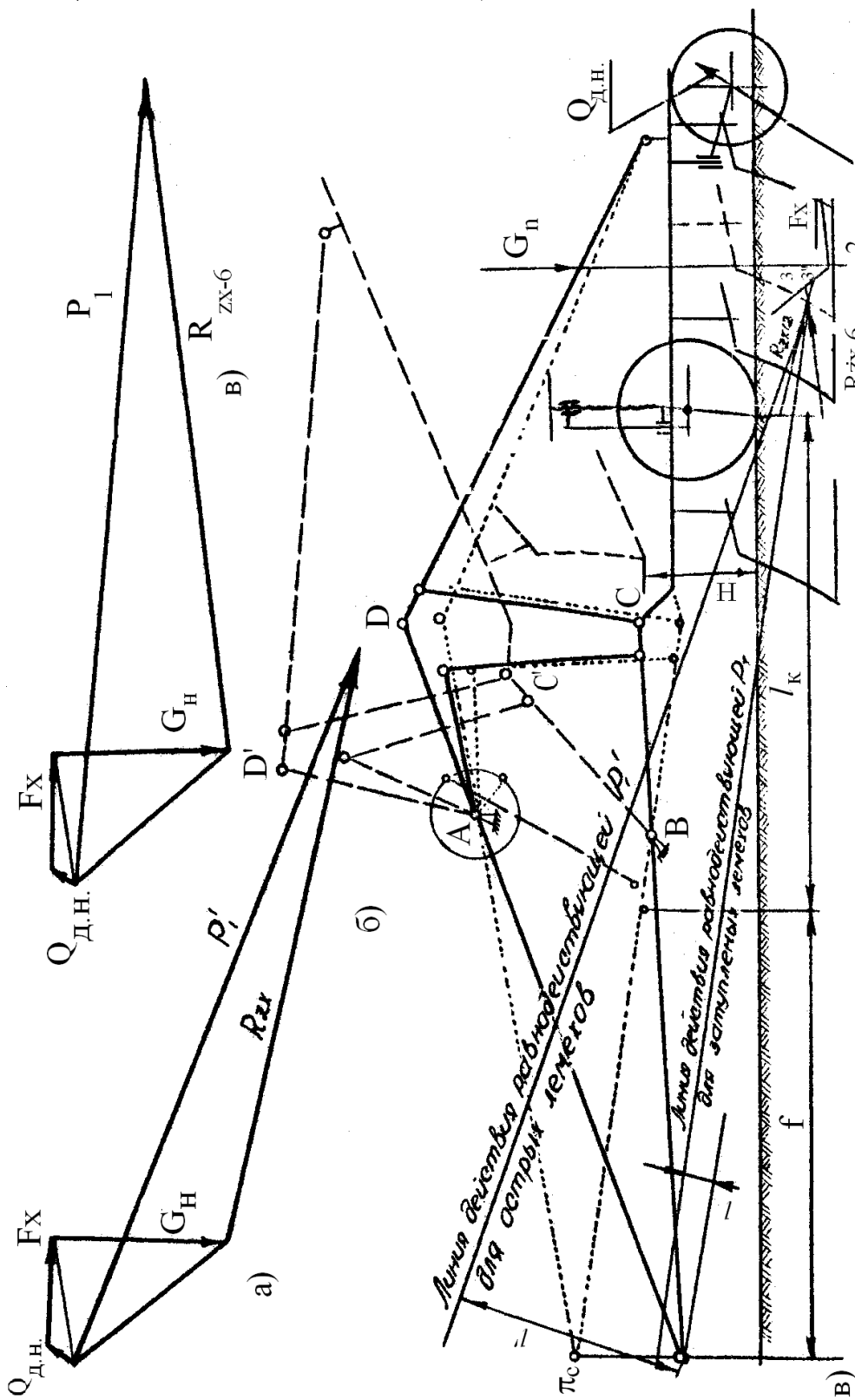
$$\text{Величина} \quad \ell = \frac{M_{\min}}{P_1} \quad (4)$$

де M_{\min} – мінімальний заглиблюючий момент, який забезпечує нормальну роботу плуга на заданих щільних ґрунтах;

$$M_{\min} = B m \quad (5)$$

де B – ширина захвату плуга;

m – заглиблюючий момент, який приходить на 1 см ширини захвата.



- положення ланок плуга-аналога
- транспортне положення плуга
- нове положення ланок нічпки

Рис. 4. Кінематична схема начіпки плуга на трактор:
 а – многокутник сил у випадку затуплених лемешів;
 б – те ж, але у випадку гострих лемешів;
 в – кінематична схема начіпки плуга на трактор.

Стійка робота плуга без надлишкового запасу заглиблюючого моменту досягається при

$$m=6\dots 8 \text{ кгс/см.}$$

У даному випадку

$$M_{\min}=140\cdot 7=980 \text{ кгс}$$

Параметр f вибираємо із умови забезпечення задовільного копіювання плугом рельєфу поля. Для трактора Т-150К

$$f=L\dots 2L$$

де L – відстань між осями передніх і задніх коліс трактора Т-150К, $L=2,86$ м [4].

$$f=2,86$$

Рівнодійна \bar{P}_1 визначається як векторна сума сил

$$\bar{P}_1 = \bar{R}_{zx} + \bar{G}_n + \bar{Q}_H + \bar{F}_x \quad (6)$$

де G_n – вага плуга, $G_n=675$ кг;

Q_H – сила опору ножа; так як дисковий ніж встановлюємо в комбінації з опорним колесом, то цю силу додаємо до сили $Q_{\text{оп.к.}}$ – зусилля на опорному і використовуємо для перевірки рівноваги плуга по глибині.

Плече ρ_{zx} – дорівнює $1/2$ глибини оранки при додатних кутах ψ , і $1/3$ – при від'ємних ψ .

$$R_x=0,7\cdot 30\cdot 35\cdot 0,9\cdot 4=2646\approx 2650 \text{ кгс.}$$

$$R_x=0,2\cdot 2646\approx 530 \text{ кгс.}$$

$$R_{zx} = \sqrt{2650^2 + 530^2} = 2702 \text{ кгс.}$$

Сила тертя польових дошок об стінку борозни

$$F_x=fR_y \quad (7)$$

де $R_y=1/3R_x$ – зусилля, яке сприймає польова дошка;

$f=0,5$ – коефіцієнт тертя сталі об ґрунт.

$$F_x=1/3\cdot 2650\cdot 0,5=442 \text{ кгс.}$$

На кінематичній схемі агрегування плуга з трактором будуємо план сил, діючих на плуг у поздовжньо–вертикальній площині і знаходимо їх рівнодіючу P_1 і точку її прикладання, направивши R_{zx} під кутом $\psi = -5^\circ$, що на 5° менше, ніж у плуга для плуга-аналога для затуплених лемешів (рис. 4, б).

У даному випадку $P_1 = 3144$ кгс.

Тоді відстань миттєвого центра обертання π від лінії дії сили P_1

$$\ell = \frac{M}{P_1} \quad (8)$$

$$\ell = \frac{980}{3144} = 0,311$$

Таким чином, нова розроблена кінематична схема начіпки плуга на трактор забезпечує рівномірну роботу плуга при кутах ψ до -5° . Подальше зменшення кута ψ (для ще більшого затуплення лемешів) при незмінній конструкції начіпки трактора приведе до нерівномірної роботи плуга.

На цьому будову зміненої кінематичної схеми закінчуємо.

Тоді заглиблюючий момент

$$M = 3370 \cdot 1,1 = 3700 \text{ кг}\cdot\text{м},$$

а реакція на опорному колесі

$$Q_{\text{оп.к.}} = 3700 / 3,6 = 102,7 \approx 103 \text{ кгс}.$$