

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Бабіч Вадим Олександрович

УДК 631.17

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування комплексу машин для виробництва цукрових
буряків з розробкою начіпної зчіпки**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Бабіч В.О.

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Бабіч Вадим Олександрович. Обґрунтування комплексу машин для виробництва цукрових буряків з розробкою начіпної зчіпки. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У кваліфікаційній роботі обґрунтовано склад і технологічні параметри комплексу машин для вирощування, догляду та збирання цукрових буряків із розробкою універсальної начіпної зчіпки.

Виконано аналіз існуючих технічних рішень у сфері начіпного обладнання, що дозволив виявити обмеження за навантажувальними характеристиками та габаритами. На основі цього проведено розробку конструкції начіпної зчіпки із застосуванням модульного принципу: вона забезпечує швидке переозброєння агрегату під різні види машин без зниження жорсткості та надійності з'єднання.

Проведено розрахунки силових характеристик та напружено-деформованого стану елементів зчіпки. За результатами моделювання запас міцності в найбільш навантажених вузлах перевищує нормативні вимоги не менш ніж на 20 %. Геометричні параметри зчіпного механізму оптимізовано для зменшення маси на 10 % при збереженні жорсткості конструкції.

Ключові слова: машинно-тракторний парк, експлуатація техніки, цукрові буряки, комплекс машин, зчіпка, конструкція.

ANNOTATION

Babich Vadym Oleksandrovysh. Substantiation of a complex of machines for sugar beet production with the development of a hitch. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work substantiates the composition and technological parameters of a set of machines for growing, caring for and harvesting sugar beet with the development of a universal hitch.

An analysis of existing technical solutions in the field of attachments has been carried out, which has revealed limitations in terms of load characteristics and dimensions. Based on this, the design of the hitch was developed using the modular principle: it provides quick re-equipment of the unit for different types of machines without reducing the rigidity and reliability of the connection.

The strength characteristics and stress-strain state of the coupling elements were calculated. According to the modeling results, the safety margin in the most heavily loaded components exceeds the standard requirements by at least 20%. The geometric parameters of the coupling mechanism were optimized to reduce the weight by 10 % while maintaining the structural rigidity.

Keywords: machine and tractor fleet, operation of machinery, sugar beet, machine complex, hitch, structure.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	26
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....	36
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Актуальність обґрунтування комплексу машин для виробництва цукрових буряків з розробкою начіпної зчіпки зумовлена ключовою роллю цієї культури в агропромисловому комплексі України, що входить до числа світових лідерів із вирощування буряків. Забезпечення стабільного рівня виробництва та підвищення конкурентоспроможності вітчизняного цукрового сектора потребує впровадження сучасних машинно-тракторних агрегатів, здатних забезпечити високу ефективність технологічних операцій.

Сучасний стан механізації виробництва цукрових буряків характеризується використанням застарілих або недостатньо інтегрованих машин, які не забезпечують оптимальної продуктивності на всіх етапах технологічного процесу. Це призводить до надмірних витрат палива, збільшених трудовитрат та втрат урожаю внаслідок неякісного обробітку ґрунту і неакуратного збирання коренеплодів.

Створення уніфікованого комплексу машин з адаптивною начіпною зчіпкою дозволить оптимізувати зміну технологічних операцій без простоїв і переобладнання, підвищить маневреність тракторів у різних ґрунтово-кліматичних умовах і скоротить час на переналагодження агрегатів. Інтеграція регульованої за жорсткістю зчіпки сприятиме рівномірному розподілу навантаження та зниженню механічного пошкодження рослин.

З економічної точки зору впровадження нового машинного комплексу сприятиме зниженню собівартості вирощування буряків через оптимізацію витрат палива, скорочення агрегатних витрат і підвищення продуктивності одиниці техніки. З екологічного погляду вдосконалена начіпна система зменшить ущільнення ґрунту та знизить негативний вплив на структуру агрофону.

Наукова новизна дослідження полягає у розробці та випробуванні начіпної зчіпки з регульованою жорсткістю, яка забезпечує просторову

стабільність агрегатів і можливість швидкого переходу між операціями. Отримані результати можна буде впроваджувати не лише при вирощуванні цукрових буряків, а й широкого спектру технічних культур, що відкриває перспективи для подальших досліджень у сфері точного землеробства.

Метою роботи є розробка та обґрунтування ефективного комплексу машин для технологічного забезпечення вирощування цукрових буряків із застосуванням нової начіпної зчіпки, що забезпечує оптимальну жорсткість, маневреність та уніфікацію технологічного процесу.

Завдання дослідження:

- провести аналіз існуючих машинно-тракторних агрегатів та начіпних зчіпок, що застосовуються в технології вирощування цукрових буряків, та визначити їхні переваги й недоліки;
- визначити вимоги до технічних характеристик агрегатів комплексу з урахуванням агрокліматичних умов регіону та специфіки технологічного циклу;
- розробити конструктивну модель начіпної зчіпки та забезпечити її сумісність з основними видами обробних і посівних машин;
- виконати розрахунки силових навантажень і міцнісних характеристик елементів зчіпки для забезпечення надійності в експлуатації.

Об'єкт дослідження – комплекс машинно-тракторних агрегатів, що застосовуються для технологічного забезпечення вирощування цукрових буряків із начіпною системою.

Предмет дослідження – конструктивно-функціональні характеристики та експлуатаційні параметри начіпної зчіпки зі змінною жорсткістю, що забезпечують інтеграцію та оптимізацію роботи обробних, посівних і збиральних машин у межах єдиного комплексу.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., Бабіч В.О., Кіпчук В.Б, Самчук В.І. шляхи зменшення тягового опору сільськогосподарських машин. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські

читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 89-91.

2. **Бабіч В.О.,** Хмельовський Р.А. Сучасний стан механізації збирання цукрових буряків. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 92-94.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення проекту полягає в підвищенні продуктивності технологічного циклу вирощування цукрових буряків за рахунок інтеграції обробних, посівних і збиральних операцій в єдиний машинний комплекс. Використання регульованої начіпної зчіпки дозволяє скоротити простой при зміні агрегатів, забезпечує рівномірний розподіл тягового навантаження та знижує витрати палива на гектар, що безпосередньо впливає на зниження собівартості вирощування.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 25 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 49 сторінок комп'ютерного тексту, містить 4 рисунки та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Сучасна технологія вирощування цукрових буряків

Україна посідає одне з провідних місць у світі за обсягами вирощування цукрових буряків: у маркетинговому році 2023/24 площа посівів сягала близько 220 000 га, що забезпечило виробництво понад 10,3 млн т коренеплодів. Ці обсяги дозволяють країні виробляти майже 1,5 млн т цукру на рік, гарантуючи задоволення внутрішніх потреб харчової промисловості та суттєво знижуючи залежність від імпорту. Водночас експорт українського цукру активно розвивається в рамках квот ЄС, що сприяє розширенню присутності вітчизняних виробників на європейському ринку. Значний вклад галузі в продовольчу безпеку країни підкреслює її стратегічну вагу для забезпечення стабільності внутрішнього ринку [1-4].

Польова зона вирощування зосереджена переважно в ґрунтово-кліматичних умовах центральних та північних областей (Полтавська, Київська, Вінницька), де родючі чорноземи забезпечують високий потенціал урожайності. У цих регіонах зосереджено понад 60 % загальної площі під буряками, що робить їх локомотивом національного виробництва. Проте кліматична мінливість, зокрема дефіцит вологи на околицях «бурякового поясу», вимагає гнучких технологічних рішень для підтримки стабільних рівнів врожайності. У зв'язку з цим удосконалення механізованих операцій має враховувати специфіку рельєфу та гідротермічних умов цих ключових зон [1].

Галузь цукрового буряка забезпечує понад 10 % аграрного ВВП України, демонструючи свою вагому економічну роль у структурі агропромислового комплексу. Виробництво та переробка коренеплодів створюють робочі місця для сотень тисяч працівників у сільській місцевості в періоди посіву та збирання врожаю. Значні капіталовкладення в модернізацію переробних підприємств стимулюють розвиток машинобудівної галузі та сервісних

структур, що безпосередньо впливає на економічний добробут сільських територій [5].

Незважаючи на високий рівень загальної механізації, близько 88 % площ у галузі обробляють великі агропідприємства, часто використовуючи застарілу техніку, що знижує операційну ефективність. Використання прецизійних технологій – від точного висівання до змінного внесення добрив та автоматизованого збирання—дозволяє значно підвищити продуктивність та якість коренеплодів. Сучасні бурякозбиральні комбайни з GPS-керуванням мінімізують пошкодження та втрати продукції, одночасно оптимізуючи витрати палива й людських ресурсів [4].

Впровадження сталих агротехнічних практик, таких як мінімальний обробіток ґрунту та точне внесення добрив, сприяє збереженню структури чорноземів і зменшенню ерозії. Такі підходи знижують викиди парникових газів і відповідають екологічним стандартам ЄС, що посилює інтеграцію України в європейські агропродовольчі ланцюги. Урахування цих стратегічних аспектів обґрунтовує необхідність подальшої модернізації машинних комплексів для забезпечення стійкого розвитку галузі та її здатності протистояти зовнішнім викликам [6].

Система підготовки ґрунту під посів цукрових буряків починається з аналізу його фізико-хімічних властивостей. Ефективне вирощування забезпечується лише на ґрунтах із нейтральною або слаболужною реакцією (рН 6,5–7,5), оскільки саме в цьому діапазоні найбільш доступні макро- та мікроелементи, необхідні для швидкої генеративної стадії рослини.

Глибоке рихлення за допомогою плуга на 30–35 см створює умови для оптимального розвитку кореневої системи, дозволяє коренеплодам легко проникати в підґрунтя та доступ до вологи й поживних елементів із нижчих шарів ґрунту. Таке технологічне рішення знижує ризик підняття коренеплодів над поверхнею й сприяє рівномірному росту рослин [7].

Альтернативні методи обробітку, як-от мульчувальний посів і мінімальний обробіток, використовуються для збереження структури

грунтового покриву та зменшення ерозії. Вибір методу здійснюється з урахуванням типу ґрунту та рівня вологості в оптимальні строки, щоб уникнути ущільнення й забезпечити прохідність агрегатів [8].

Підготовка насінневого ложа передбачає створення тонкого дрібногрудкуватого шару (2–3 см) із однорідною структурою ґрунту, який забезпечує хороший контакт насіння з ґрунтом та оптимальний водний режим у зоні його розташування. Над цим шаром залишається більш крупногрудкувата поверхня, що знижує випаровування вологи та запобігає скупченню води на поверхні [10]. Видалення залишків попередніх культур і рівномірне розподілення стерні по полю створює умови для стабільної вологості та теплообміну в шарі посіву. Надлишок органічних залишків може призвести до нерівномірного прогріву ґрунту та ускладнити роботу сівалки, тому передпосівне очищення поля є обов'язковим етапом технології.

Корекція реакції ґрунту за допомогою вапнування на кислих ґрунтах ($\text{pH} < 6,0$) є критичною для досягнення високої врожайності. Підвищення pH до рівня 6,5–7,0 сприяє кращій доступності фосфору та мікроелементів, що особливо важливо на початкових етапах росту цукрових буряків.

Точне висівання відбувається за допомогою сучасних пневматичних або механічних сівалок із цифровим регулюванням норми висіву. Оптимальна глибина загортання насіння – 2–3 см, міжряддя 45–50 см, а відстань між насінинами в рядку 4–5 см забезпечують однорідний розвиток рослин і знижують конкуренцію за ресурси [11].

Калібрування та технічне обслуговування висівних агрегатів перед початком сівби гарантує точність закладення насіння. Перевірка стану насінневих дисків, шнеків, регулювання натягу ланцюгів та очищення висівних вузлів дозволяють досягти високої рівномірності рядків і мінімізувати пропуски.

Сучасні технології обробки насіння – пелетування, протруювання та передпосівне зволоження – покращують його схожість та поліпшують однорідність появи сходів. Використання преміксів із захисними й

стимулювальними компонентами сприяє підвищенню продуктивності на 6–9 % порівняно з непокритим насінням.

Впровадження систем моніторингу параметрів сівби на основі лазерних або оптичних датчиків разом із GPS-логуванням дозволяє в режимі реального часу відстежувати потоки насіння, глибину загортання та однорідність посіву. Це відкриває можливості для подальшої оптимізації технологічних операцій та підвищення ефективності використання посівного матеріалу [3].

Система живлення цукрових буряків починається з ґрунтового аналізу, який дозволяє визначити дефіцитні елементи та оптимальні норми внесення мінеральних добрив. Для формування високого врожаю рекомендується застосовувати комплекс NPK-добрив із переважанням азоту на початкових фазах росту, коли нарощується вегетативна маса, та з балансом фосфору й калію під час формування коренеплодів. Важливо рівномірно розподіляти добрива по всій поверхні поля, використовуючи агрегати з точним дозуванням, що дозволяє знизити втрати елементів живлення та запобігти їх вимиванню. Застосування мікродобрив у вигляді рідких комплексів сприяє швидкому засвоєнню макро– та мікроелементів у стресових умовах дефіциту вологи чи підвищених температур. Підживлення вегетаційне, виконане в критичні фази сходи, утворення справжніх листків, нарощення коренеплодів – дозволяє підтримувати інтенсивний ріст і попереджувати хлороз.

Сучасні системи живлення включають технології диференційованого внесення, коли норми добрив змінюються в межах одного поля залежно від показників родючості та попереднього врожаю. Для цього застосовують ґрунтові карти та дані дистанційного зондування, які інтегрують у бортові комп'ютери тракторів. Такий підхід підвищує ефективність використання ресурсів і дозволяє заощадити до 15–20 % мінеральних добрив, знижуючи екологічне навантаження та собівартість виробництва. Крім того, диференційоване внесення сприяє вирівнюванню росту рослин у різних зонах поля, що є запорукою однорідного формування коренеплодів і високої їх якості.

Захист рослин ґрунтується на інтегрованому підході, який поєднує механічні, біологічні та хімічні методи контролю шкідників і хвороб. Попередньо оброблене насіння протруйниками пролонгованої дії запобігає розвитку ґрунтових шкідників та фітопатогенів на ранніх стадіях. Упродовж вегетації використовують феромонні пастки, моніторингові мережі та візуальні обстеження для своєчасного виявлення зон ураження. За необхідності проводять вибіркове застосування пестицидів із урахуванням рекомендацій системи IPM, що мінімізує хімічне навантаження й запобігає розвитку резистентності у шкідників. Поєднання біопрепаратів із низькодозовими хімічними засобами забезпечує високий рівень захисту при збереженні екологічної безпеки [4].

Важливою складовою є контроль за балансом вологи та поживних речовин у листовій поверхні, оскільки дефіцит живлення одночасно послаблює імунітет рослин до шкідників. Для цього практикують листові підживлення комплексними розчинами, які містять магній, бор, цинк та інші мікроелементи. Ці операції вчасно проводять у фазу великої листової поверхні, що забезпечує максимальне захоплення розчину та швидке засвоєння. Листові підживлення особливо ефективні в посушливі сезони або після періоду надлишкових опадів, коли кореневий посуд втрачає здатність до рівномірного засвоєння ґрунтових добрив [7].

У комплексі система живлення й захисту рослин забезпечує стабільність технологічного процесу та високу продуктивність культури. Впровадження точних дозувань, диференційованого підходу та інтегрованого захисту дозволяє знизити експлуатаційні витрати, покращити якість коренеплодів і зменшити вплив агровиробництва на навколишнє середовище. Результативна взаємодія агротехнічних заходів створює умови для отримання високих врожаїв із мінімальними втратами, що є ключовим завданням сучасного бурякобудування.

Впровадження сучасних бурякозбиральних комплексів дозволяє значно скоротити строки збирання врожаю та мінімізувати залежність від погодних умов. Автоматизовані машини здатні працювати з високою продуктивністю

незалежно від вологості ґрунту та стану рослин, що особливо важливо в умовах змінного клімату. Застосування потужних тракторною тягою комбайнів з адаптивними ходовими частинами забезпечує рівномірний рух по полю та знижує ушкодження коренеплодів під час збирання [7].

Сучасні бурякозбиральні комбайни обладнані системами попереднього зрізання листя та підкопування коренеплодів, що поєднані у суцільний технологічний ланцюг. Дводискові ножі зрізають надземну частину рослини, після чого спеціальні підкопуючі галтелі акуратно відокремлюють коренеплоди від ґрунту. Цей підхід дозволяє зменшити механічне пошкодження тканин цукрових буряків, що безпосередньо впливає на якість зібраної продукції та рівень втрат при подальшій доробці [9].

Після підкопування рух коренеплодів здійснюється по стрічковому транспортёру, де відбувається первинне відсівання ґрунту. Вібраційні решета та крутильні валики забезпечують ефективне відділення великих грудок ґрунту, а також уламків листя і кореневої системи. Така попередня очистка дозволяє знизити навантаження на промивні установки на наступному етапі та економить витрати водних ресурсів [10].

Далі коренеплоди потрапляють на модуль очищення з використанням обертових щіток і струменів води. Інтенсивність обробки налаштовується виходячи з ступеня забрудненості та чутливості сорту буряків. Завдяки гнучким регулюванням швидкості обертання щіток та тиску водяної форсунки вдається досягнути максимальної чистоти без пошкодження шкірки коренеплодів.

Зі зростанням інтересу до ресурсозбереження почали широко застосовуватися замкнуті системи водопостачання, в яких вода після промивки фільтрується та повертається в робочий цикл. Це значно знижує споживання прісної води та дозволяє використовувати очисні агрегати безперервно протягом усього сезону збирання, незалежно від зовнішніх обмежень у вододефіцитних регіонах [12].

Після очищення продукцію автоматично відбирають та сортують за калібром і якістю за допомогою оптичних та механічних сортувальних систем.

Відсортовані коренеплоди направляються у спеціальні бункери або контейнери, де вони утримуються до моменту відвантаження. Такий підхід дозволяє формувати партії однакового калібру, що є важливим для заводських ліній переробки та зберігання [9].

Завершальним етапом є підготовка буряків до тривалого зберігання: вологість коренеплодів доводять до оптимального рівня, проводять антиоксидантну обробку та контроль температурного режиму у сховищах. Сучасні зернові сховища обладнують системами вентилявання та моніторингу мікроклімату, що дозволяє підтримувати сталі умови і мінімізувати втрати від гниття або проростання. Це комплексне рішення забезпечує збереження високої якості цукрових буряків до моменту переробки [2].

Сучасна технологія вирощування цукрових буряків базується на інтеграції точного висівання, диференційованого живлення, прецизійного зрошення та автоматизованого збирання за підтримки цифрових рішень. Це дозволяє підвищити урожайність понад 60 т/га, поліпшити якість продукції та зменшити екологічний вплив виробництва. У майбутньому розвиток робототехніки та AI-систем для агровиробництва відкриває нові можливості для підвищення стійкості та рентабельності цукробурякового виробництва в Україні.

1.2 Обґрунтування технології одночасної культивуації та сівби цукрових буряків

Перед впровадженням технології одночасної культивуації та сівби цукрових буряків важливо підкреслити, що її застосування спрямоване на оптимізацію агротехнічного процесу шляхом поєднання обробітку ґрунту і закладення насіння в один прохід. Такий підхід дозволяє зменшити кількість операцій, скоротити затрати пального й праці, а також мінімізувати ущільнення ґрунту та ерозійні процеси. В основі технології лежить точне нарізання щілин під рядок, регульоване рихлення ґрунту та безпосереднє внесення насіння в

оптимальні умови вологості і структури, що забезпечує високу польову схожість і однорідність посівів.

Універсальні навісні та причіпні комплекси обладнані стрілочастими лапами для розпушування, котками для вирівнювання поверхні та системами направляючих щілин. Наприклад, агрегати УСМК-5,4Б оснащені щілиноспрямовувачами, розташованими через 2 700 мм один від одного, що відповідає міжряддям 45 см для сівби цукрових буряків. Пневматичні чи механічні висівні секції забезпечують стабільну подачу насіння за рахунок електронного контролю або механічного редуктора, що мінімізує похибки в нормі висіву до $\pm 2\%$

Використання одноразового проходу по полю суттєво знижує витрати пального, адже традиційна окрема культивування та сівба можуть вимагати до чотирьох разів більше пального на гектар порівняно з одноразовою технологією. Скорочення кількості проходів тракторів зменшує ущільнення ґрунту, сприяючи поліпшенню структури та аерації кореневої зони, що покращує розвиток коренеплодів і їхню якість [7].

Завдяки збереженню смуг необробленого ґрунту між рядками, технологія сприяє утриманню вологи в кореневій зоні, зменшуючи стрес рослин у посушливі періоди та покращуючи польову схожість [4]. Поєднання операцій мінімізує ерозійні процеси, адже розпушування відбувається лише в смугах під посів, а міжряддя залишаються захищеними рослинними рештками, що знижує втрати ґрунту під впливом вітру та води. Одноразовий прохід скорочує час виконання робіт на 30–40 %, що дозволяє здійснити посів у оптимальні агрокліматичні вікна та зменшує ризики затримок через дощі чи заморозки [6].

Розміщення поживних речовин у безпосередній близькості до насіння підвищує ефективність використання добрив, даючи змогу знизити норми внесення на 20–30 % без втрати врожайності. Поліпшене прилягання насіння до ґрунту за рахунок вирівнювальних котків і копіювальних коліс забезпечує більш рівномірні сходи та знижує відсоток пропусків і двійників на 5–8 %.

Гнучкість налаштувань агрегату дозволяє працювати в різних ґрунтово-кліматичних умовах і на різних типах ґрунтів, а швидка заміна робочих органів збільшує універсальність застосування під інші культури. Впровадження технології сприяє зниженню собівартості вирощування на 15–20 % завдяки економії пального, скороченню трудових ресурсів та підвищенню продуктивності одиниці техніки.

Поєднання культивуації й сівби зменшує викиди CO₂ за рахунок зменшення кількості операцій, що відповідає екологічним стандартам та сприяє сталому розвитку агровиробництва. Технологія відкриває можливість пізнішого та більш гнучкого початку сівби, адже одноразовий прохід займає менше часу, що особливо важливо під час пізньовесняних затримок через несприятливі погодні умови. У цілому справжнє зменшення втрат врожаю та підвищення його якості підтверджено дослідженнями: strip-till зберігає ароморфологічні властивості ґрунту та сприяє кращій врожайності на 5–10 % порівняно з традиційними системами обробітку [5].

1.3 Розрахунок проектованого технологічного процесу

Для забезпечення агротехнічних вимог щодо поєднання безперервного культивування та висіву цукрових буряків було створено універсальний агрегат, що виконує обидві операції за один технологічний прохід. Поле площею 150 га із середнім ухилом 3 % обробляється зв'язкою трактора ХТЗ-161, культиватора УСМК-5,4Б та сівалки ССТ-12В. Оскільки ефективність технології залежить від дотримання оптимальних швидкісних режимів, при підготовці ґрунту агрегат рухається зі швидкістю 5–9 км/год, а під час внесення насіння — 5–8 км/год. Проте, з огляду на поєднання обох операцій за один прохід, практично встановлено єдиний діапазон швидкостей 5–8 км/год, який і заноситься до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Тягова характеристика трактора ХТЗ-161

Передача	Сила на крйку, P_{KP} , кН.	Робоча швидкість, V_P , км/год	Витрати палива, G_T , кг/год
II діапазон IV передача	30,0	6,41	23,3
III діапазон I передача	32,3	7,47	23,3

Визначимо максимально можливу ширину захвату машинно-тракторного агрегату для кожної з обраних передач:

$$B_{\max} = \frac{P_{KP}}{K + \frac{G_M}{B_r} \cdot i + P_{SC}}, \text{ м} \quad (1.1)$$

де P_{KP} – гакове зусилля трактора на вибраній передачі, кН;

P_{SC} – тяговий опір зчіпки, який приходить на 1м довжини, кН/м;

K – коефіцієнт питомого опору, кН/м;

G_M – вага машини, кН;

i – кут нахилу місцевості.

Коефіцієнт питомого опору під час висіву цукрових буряків:

$$K = K_0 \left[1 + (v_P - v_0) \frac{\Delta_0}{100} \right], \quad (1.2)$$

де K_0 – коефіцієнт питомого опору при швидкості руху 5 км/год, кН/м; під час посіву:

$$K_0 = 0,6-1,0 \text{ кН/м};$$

Δ_0 – коефіцієнт приросту питомого опору, $\Delta_0 = 1,5-3 \%$.

при культивуванні:

$$K_0 = 1,2-2,6 \text{ кН/м};$$

Δ_0 – коефіцієнт приросту питомого опору, $\Delta_0 = 2-5\%$.

Культивування:

$$K_4 = 2 \left[1 + (6,41 - 5) \frac{4}{100} \right] = 2,1128, \text{ кН / м}$$

$$K_1 = 2 \left[1 + (7,47 - 5) \frac{4}{100} \right] = 2,1976 \text{ кН / м}.$$

Посів:

$$K_4 = 1 \left[1 + (6.41 - 5) \frac{2}{100} \right] = 1.0282 \text{кН} / \text{м} .$$

$$K_1 = 1 \left[1 + (7.47 - 5) \frac{2}{100} \right] = 1.0494 \text{кН} / \text{м} .$$

Максимально ширина захвату МТА:

$$B_{MAX4} = \frac{30}{2.1128 + 1.0494 + (0.4739 + 0.2269) \cdot 0.03} = 9.5 \text{м} .$$

$$B_{MAX1} = \frac{32.3}{2.1976 + 1.0494 + (0.4739 + 0.2269) \cdot 0.03} = 9.9 \text{м} .$$

Чисельність машин, які входять до складу агрегату:

$$n_M = \frac{B_{\max}}{B_K} \quad (1.3)$$

де: B_K – конструктивна ширина захвату, м для сівалки ССТ-12В $B_K = 5,4$ м.

$$n_{M4} = \frac{9.5}{5.4} = 1 \text{машина} .$$

$$n_{M5} = \frac{9.9}{5.4} = 1 \text{машина} .$$

Повний тяговий опір агрегатів:

$$R_a = n_M (K \cdot B_p + G_M \cdot i) + R_{CII}, \text{кН} \quad (1.4)$$

$$R_{a4} = (2.1128 + 1.0282) \cdot 5.4 + (12 \cdot 0.03) = 17.32 \text{кН} .$$

$$R_{a1} = 1(2.1976 + 1.0494) \cdot 5.4 + (26.46 \cdot 0.03) = 18.33 \text{кН} .$$

Рациональність навантаження трактора з заданою кількістю знарядь оцінюють за показником використання його тягової сили, який визначають за відповідною формулою.:

$$\eta = \frac{R_A}{P_{KP}} \quad (1.5)$$

$$\eta_4 = \frac{17.32}{30} = 0.58 .$$

$$\eta_1 = \frac{18.33}{32.3} = 0.57 .$$

Рекомендовані значення цього показника, залежно від виду виконуваної роботи, коливаються в діапазоні 0,85–0,96.

З огляду на конструктивні особливості агрегату та агротехнічні вимоги, оптимальним режимом для сівби цукрових буряків вважаємо I передачу у III робочому діапазоні.

Перейдемо до визначення основних техніко-експлуатаційних характеристик: розрахуємо годинну виробничу продуктивність машинно-тракторного агрегату в обраному режимі роботи:

$$W_{год} = 0.1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, га / год \quad (1.6)$$

де B_p – робоча ширина захвату, м.

$$B_p = B_K \cdot K_W, м \quad (1.7)$$

де B_K – конструктивна ширина захвату, м;

K_W – коефіцієнт використання конструктивної ширини захвату. $K_W = 1$

$$B_p = 5.4 \cdot 1.0 = 5.4 м.$$

$$W_{год} = 0.1 \cdot 5.4 \cdot 7.47 \cdot 0.71 = 2.86 га / год.$$

Розрахункова експлуатаційна продуктивність машинно-тракторного агрегату в обраному режимі його работ:

$$W_{зм} = W_{год} \cdot T, га / зм \quad (1.8)$$

де T – час зміни, год. $T = 8$ год.

$$W_{зм} = 2.86 \cdot 8 = 22.9 га / зм.$$

Оцінюємо кількість пального, необхідного для виконання одиниці роботи, у вигляді витрати літрів на гектар:

$$Q_{ГА} = \frac{G_p T_p + G_{xx} T_{xx} + G_o T_o}{W_{зм}}, \quad (1.9)$$

де G_p – годинна витрата палива при роботі під навантаженням, кг/год;

T_p – час чистої роботи за зміну, год;

G_{xx} – годинна витрата палива при холостих переїздах, кг/год;

T_{xx} – час витрачений на холості переїзди за зміну, год;

G_o – годинна витрата палива при зупинках, кг/год;

T_o – час витрачений на зупинки, год.

$$G_p = \frac{g_e \cdot N_{EH}}{1000}, \quad (1.10)$$

де g_e – питома витрата палива, г/кВт·год;

N_{EH} – ефективна потужність двигуна, кВт.

$$G_p = \frac{233 \cdot 72.3}{1000} = 16.85 \text{ кг/год.}$$

$$T_p = \tau \cdot T_{3M}, \quad (1.11)$$

де T_{3M} – час роботи за зміну, год

$$T_p = 0.71 \cdot 8 = 5.68 \text{ год.}$$

$$G_{xx} = 0.3G_p, \quad (1.12)$$

$$G_{xx} = 0.4 \cdot 16.85 = 6.47 \text{ кг/год.}$$

$$T_{xx} = T_o = \frac{T_{3M} - T_p}{2}, \text{ год} \quad (1.13)$$

$$T_{xx} = T_o = \frac{8 - 5.68}{2} = 1.16 \text{ год.}$$

$$G_o = 0.1G_p, \text{ кг / год} \quad (1.14)$$

$$G_o = 0.1 \cdot 16.85 = 1.685 \text{ кг / год.}$$

$$Q_{га} = \frac{16.85 \cdot 5.68 + 6.47 \cdot 1.16 + 1.685 \cdot 1.16}{22.9} = 4.59 \text{ кг / га.}$$

Кількість необхідних робочих днів для виконання операції:

$$D_p = \frac{Q}{W_{3M}}, \text{ днів} \quad (1.15)$$

де Q – площа поля, га.

$$D_p = \frac{150}{22.9} = 6.6 \text{ днів.}$$

Виходимо з того, що операцію можна здійснити за 7 днів відповідно до агротехнічних вимог.

Визначимо загальну кількість нор-мо-годин, необхідних для виконання цієї роботи:

$$T_{н.год} = \frac{Q}{W_{год}}, \text{ год} \quad (1.16)$$

де: $W_{год}$ – годинна продуктивність, га/год.

$$T_{н.год} = \frac{150}{3.1} = 52.45 \text{ год.}$$

Витрати праці на одиницю виконаної роботи:

$$Z_m = \left(\frac{m_1 + m_2}{W_{год}} \right), \text{люд.год} / \text{га} \quad (1.17)$$

де: m_1 – число основних працівників, люд;

m_2 – число допоміжних працівників, люд.

$$Z_m = \frac{1+1}{2.86} = 0.7 \text{ люд.год} / \text{га} .$$

Необхідна кількість палива для виконання операції:

$$G = Q_{га} \cdot Q, \text{кг} \quad (1.18)$$

$$G = 4.59 \cdot 150 = 688.5 \text{ кг} .$$

Довжина ділянки, протягом якої витрачаються насіння та мінеральні добрива до наступного заправного циклу, тобто відстань між двома технологічними зупинками:

$$l_3 = \frac{10000 \cdot V_B \cdot \gamma \cdot \phi}{H \cdot B_p}, \text{м} \quad (1.19)$$

де: V_B – місткість заправ очного ящика, дм^3 ; $V_B = 0.0195 \text{ м}^3$; добрив $V_B = 0.028 \text{ м}^3$;

γ – об'ємна вага витрачає мого матеріалу, кг/дм^3 ; $\gamma = 0.22 \text{ т/м}^3$;

ϕ – коефіцієнт використання ємності ящика, $\phi = 0.9$;

H – норма висіву насіння та внесення мінеральних добрив, кг/га ; насіння $H = 17 \text{ кг/га}$, добрив $H = 150 \text{ кг/га}$;

B_p – робоча ширина захвату машинного агрегату, м.

Шлях до заправки насіння, м:

$$l_3 = \frac{10000 \cdot 19.2 \cdot 12 \cdot 0.22 \cdot 0.9}{17 \cdot 5.4} = 4969.4 \text{ м} .$$

Шлях до заправки добрив, м:

$$l_d = \frac{10000 \cdot 28 \cdot 6 \cdot 0.95 \cdot 0.9}{150 \cdot 5.4} = 1773.3 \text{ м} .$$

Число проходів від однієї заправки до іншої:

$$n_{пп} = \frac{l_3}{L_{рх}} , \quad (1.20)$$

де $L_{рх}$ – довжина робочого гону, м;

– для насіння:

$$n_{\text{ПР}} = \frac{4969.4}{717.6} = 6.9.$$

– для добрив:

$$n_{\text{ПР}} = \frac{1773.3}{717.6} = 2.47.$$

Довжина робочого гону визначається за формулою:

$$L_{\text{РХ}} = L - 2E, \text{ м} \quad (1.21)$$

де L – довжина поля, м;

E – ширина поворотної смуги, м.

$$E = K \cdot B_p, \text{ м} \quad (1.22)$$

де K – коефіцієнт кратності проходів агрегату, $K = 1, 4 \dots 4$

$$E = 3 \cdot 5.4 = 16.2 \text{ м}.$$

$$L_{\text{РХ}} = 750 - 2 \cdot 16.2 = 717.6 \text{ м}.$$

На підставі виконаних розрахунків визначаємо точки дозаправки насіння та добрив у такому порядку:

- підживлення мінеральними добривами здійснюємо з однієї й тієї ж сторони після того, як посівний агрегат пройде два робочі етапи (що відповідає повному оберту);

- поповнення запасів насіння організовуємо також з однієї сторони, але після шести проходів агрегату, або трьох повних кіл.

Інтервал між пунктами розташування насіння та добрив для однієї заправки становить, м:

$$l_c = n_{\text{ПР}} \cdot B_p, \quad (1.23)$$

де: $n_{\text{ПР}}$ – кількість проходів від однієї заправки до іншої.

– для насіння:

$$l_c = 6 \cdot 5.4 = 32.4 \text{ м}.$$

– для добрив:

$$l_c = 2 \cdot 5.4 = 10.8 \text{ м}.$$

Час, який необхідно до наступної заправки машинного агрегату, год:

$$t_3 = \frac{l_3}{v_p} t, \quad (1.24)$$

– для насіння:

$$t_3 = \frac{4.9694}{7.47} = 0.67 \text{ год} = 40.2 \text{ хв}.$$

– для добрив:

$$t_3 = \frac{1.7733}{8.1} = 0.24 \text{ год} = 14.4 \text{ хв}.$$

Індекс використання робочих проходів машинно-тракторного агрегату під час сівби основного поля:

$$\varphi = \frac{nL_{PX}}{nL_{PX} + nL_{XX}}, \quad (1.25)$$

де L_{XX} – довжина холостого ходу, м.

$$L_{XX} = 6R + 2l, \text{ м} \quad (1.26)$$

де: l – протяжність виїзду агрегату визначається як сума кінематичних довжин трактора та сільськогосподарської машини; $l = l_T + l_M = 6.65 + 2.73 = 9.38 \text{ м}$;

R – радіус повороту агрегату, м. $R = 1.1B_K = 1.1 \cdot 5.4 = 5.94 \text{ м}$.

$$L_{XX} = 6 \cdot 5.94 + 2 \cdot 9.38 = 54.4 \text{ м}.$$

Визначаємо число проходів агрегату з конфігурацією поля $2000 \times 750 \text{ м}$:

$$n = \frac{L_{II}}{B_p}, \quad (1.27)$$

де: L_{II} – довжина поля, м.

$$n = \frac{2000}{5.4} = 370.$$

$$\varphi = \frac{370 \cdot 718}{370 \cdot 718 + 370 \cdot 54.4} = 0.93.$$

Щоб забезпечити безперебійну експлуатацію та технічне обслуговування посівного агрегату, виконуємо розрахунок кількості транспортних одиниць і тривалості виконання основних технологічних операцій.

Визначення параметра вильоту маркера на сівалці ССТ-12В під час висіву цукрових буряків.

Під час руху агрегату «туди-назад» маркери встановлюються по обидві сторони.

– довжина правого маркера:

$$l_{\text{ПР}} = \frac{B_P - B_K}{2} + m, \quad (1.28)$$

– довжина лівого маркера:

$$l_{\text{ЛВ}} = \frac{B_P + B_K}{2} + m, \quad (1.29)$$

де: B_P – робоча ширина захвату сівалки, м $B_P = 5.4$ м;

B_K – ширина колії трактора, для ХТЗ-161 $B_K = 1800$ мм;

m – ширина стикового міжряддя, $m = 0.45$ м.

$$l_{\text{ПР}} = \frac{5.4 - 1.8}{2} + 0.45 = 2.25 \text{ м.}$$

$$l_{\text{ЛВ}} = \frac{5.4 + 1.8}{2} + 0.45 = 4.05 \text{ м.}$$

Час циклу автомобіля, який обслуговує посівний агрегат визначаємо за формулою:

$$t_{\text{Ц}} = t_{\text{ДВ}} + t_{\text{ЗАГ}} + t_{\text{ВЗ}} + t_{\text{РАЗ}},$$

де: $t_{\text{ДВ}}$ – час руху з вантажем і без вантажу;

$t_{\text{ЗАГ}}$ – час завантаження автомобіля зерном і добривами, $t_{\text{ЗАГ}} = 15$ хв;

$t_{\text{ВЗ}}$ – час зважування на авто вагах, $t_{\text{ВЗ}} = 4.5$ хв.;

$t_{\text{РАЗ}}$ – час заправки сівалки добривами і насінням, $t_{\text{РАЗ}} = 5.0$ хв.

Час руху автомобіля з вантажем і без вантажу:

$$t_{\text{ДВ}} = 2l_n / v_e, \quad (1.30)$$

де: l_n – відстань перевезень 4 км;

V_E – середня швидкість автомобіля під час експлуатації = 35км/год.

$$t_{\text{ДВ}} = 2 \cdot 4 / 35 = 0.23 = 13.8 \text{ хв.}$$

Тоді час циклу транспортного засобу:

$$t_{\text{Ц}} = 13.8 + 15 + 4.5 + 5.0 = 38.3 \text{ хв.}$$

На основі виконаних обчислень можна констатувати, що вибраний агрегат із заданим режимом роботи цілком відповідає всім агротехнічним, технологічним та експлуатаційним вимогам і допускам.

Порівняння традиційної та розробленої методик суцільної культивуції й посіву цукрового буряка дало такі результати, викладені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика техніко-економічних показників підготовки ґрунту та сівби цукрових буряків.

Показники	Традиційна технологія	Розроблена технологія	Відхилення (+,-) розробленої технології від традиційної
Погектарні витрати палива, кг/га.	7,21	4,60	- 2,61
Загальні витрати палива на всю площу, кг	1081,0	688,5	- 392,5
Загальна вартість пального, витраченого на виконання вказаних операцій, грн.	11494,03	7363,68	- 4130,4
Загальні затрати праці на гектар площі,	0,94	0,70	- 0,24
Загальні енерговитрати операції, кВт/га	30,8	25,3	- 5,5
Загальна енергоозброєність процесу виконання даної операції, кВт	77,35	36,15	- 41,2

Беручи до уваги розраховані показники, можна без сумніву стверджувати, що наша технологія одночасної суцільної культивуції та сівби комплексним агрегатом є вигідною як з економічної, так і з технічної точки зору.

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Обґрунтування доцільності та потреби в конструктивній розробці

У цій кваліфікаційній роботі запропоновано навісну зчіпку, призначену для об'єднання широкозахватних сільськогосподарських машин у склад із малих та потужних тракторів (наприклад, ХТЗ-121, ХТЗ-161, ЛТЗ-155, МТЗ-1024, John Deere 6130/6130D). У нашому випадку вона адаптована під поєднання ХТЗ-161 із агрегатом УСМК-5,4.

Зчіпка також може слугувати основою для широкозахватного посівного комплексу з сівалками СУПН-8/СПЧ-8, за умови оснащення трактора ежекторами для створення необхідного розрідження в пневмосистемах бокових машин.

При монтажі агрегату один культиватор навішується на задню триточкову навіску трактора, а два інші — на гідрофіковані кронштейни правого й лівого крила зчіпки, закріплені на передній балці трактора.

Головна перевага такого рішення – у тричі меншій кількості проходів для обробітку тієї самої ділянки порівняно з традиційними схемами. Це забезпечує істотну економію палива, скорочує час виконання операції й дає змогу працювати одному оператору замість трьох.

Фронтально до лонжеронів трактора кріпиться несуча рама на восьми болтах. До неї шарнірно, у вертикальній площині, через осі приєднані бокові крила зчіпки, виготовлені зі швелера №14а. На їхніх кінцях встановлені самокеровані опорні колеса на регульованих хомутах, а поруч — гідрофіковані навіски. Гідроциліндри підключаються до двох вільних секцій гідророзподільника трактора за допомогою гідрошлангів та металевих трубопроводів.

До початку роботи в полі або під час переїзду на іншу ділянку на трактор монтується лише одна сільськогосподарська машина на задню навіску й

передню раму. Бокові крила зчіпки складаються, а дві інші машини перевозяться окремо. Остаточне збирання агрегату здійснюється безпосередньо в полі перед початком робіт, а в процесі експлуатації він нічим не відрізняється від базових навісних машин.

2.2 Розрахунки рами на міцність

Проведемо перевірку міцності балки крила на згин. Для цього будується її розрахункова схема (рис. 2.1 а), а опорні зв'язки замінюються відповідними реакціями (рис. 2.1 б).

Сила P , що прикладається до балки, прийнята рівною опору культиватора [9].

$$P = \Delta p \times B_p, \quad (2.1)$$

де Δp – питомий опір с-г машини, кН/м ($\Delta p = 1,4$ кН/м);

B_p – ширина захвату культиватора, м ($B_p = 5,6$ м).

$$P = 1,4 \times 5,6 = 7,8 \text{ кН.}$$

Для визначення опорних реакцій складаємо рівняння рівноваги балки [10].

$$\Sigma M_B = R_A \times 4,6 - P \times 1 = 0, \quad (2.2)$$

Звідки:

$$R_A = \frac{P}{4,6}, \quad (3.3)$$

$$R_A = \frac{7,8}{4,6} = 1,7 \text{ кН.}$$

$$\Sigma M_A = R_B \times 4,6 - P \times 5,6 = 0, \quad (3.4)$$

$$R_B = \frac{5,6P}{4,6}, \quad (3.5)$$

$$R_B = \frac{5,6 \times 7,8}{4,6} = 9,5 \text{ кН.}$$

Перевіряємо правильність визначених опорних реакцій.

$$\Sigma_x = 0,$$

$$- R_A + R_B - P = 0,$$

$$- 1,7 + 9,5 - 7,8 = 0.$$

Реакції опор визначені правильно.

Виводимо рівняння статичної рівноваги для обраного фрагмента балки, прийнявши умовний позитивний напрям внутрішніх зусиль.

Ділянку I аналізуємо з лівого боку..

На першій ділянці: $0 \leq Z_1 \leq 4,6\text{м}$ [4].

$$Q_x^1 = \Sigma_x = -R_A,$$

$$M_y^1 = \Sigma M_o = -R_A \times Z, \quad (2.6)$$

При $Z_1 = 0$

$$Q_x = (A) = -1,7 \text{ кН.}$$

$$M_y (A) = 0,$$

При $Z_1 = 4,6$

$$Q_x (B) = -1,7 \text{ кН.}$$

$$M_y (B) = -1,7 \times 4,6 = 7,8 \text{ кН} \times \text{м.}$$

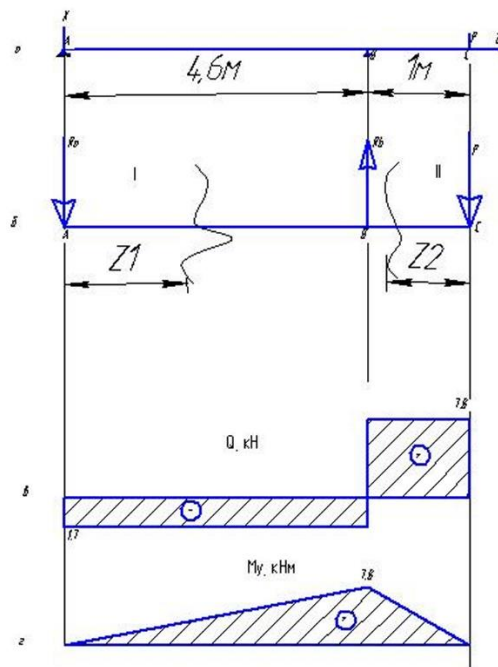


Рис. 2.1 Розрахункова схема: а) Розрахункова схема; б) Розрахункова схема із заміненними опорами на їх реакції в) Епюра зусиль Q_x ; г) Епюра моментів M_y

Для визначення внутрішніх силових факторів розбиваємо балку на ділянки і використовуємо метод перерізів.

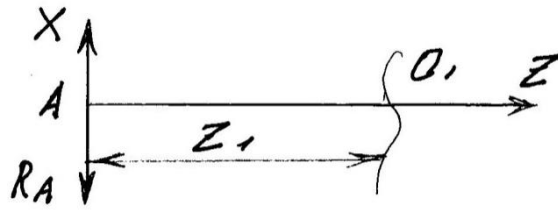


Рис. 2.2. Розрахункова схема I ділянки

Ділянку II розглянемо з правого боку.

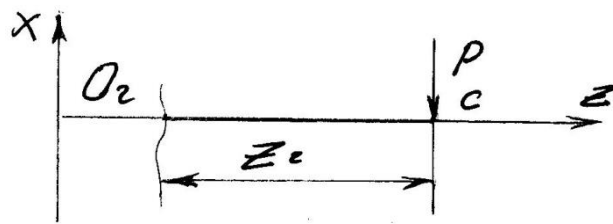


Рис. 2.3 Розрахункова схема II ділянки

На другій ділянці: $0 \leq Z_c \leq 1$.

$$\begin{aligned} Q_x &= \Sigma_x = P, \\ M_y &= \Sigma_m = P \times Z_c, \end{aligned} \quad (2.7)$$

При $Z_c = 0$

$$Q_x (C) = P = 7,8 \text{ кН.}$$

$$M_y (C) = 0,$$

При $Z_c = 1$

$$Q_x (B) = 7,8 \text{ кН.}$$

$$M_y (B) = 7,8 \times 1 = 7,8 \text{ кНм.}$$

За результатами розрахунків будуємо графіки Q_x та M_y .

Оцінюючи ці епюри й враховуючи їхні особливості, визначаємо, що критичним перерізом балки є точка В, де:

$$M_y (B) = M_y^{\max} = 7,8 \text{ кНм.}$$

Із умов міцності $[\sigma]$:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_y^{\max}}{W_y} \leq [\sigma], \quad (3.8)$$

Визначаємо значення осьового моменту опору перерізу.

$$W_y = \frac{M_y^{\max}}{[\sigma]}, \quad (2.9)$$

де $[\sigma]$ – допустима напруга, МПа (для вібраційного матеріалу) $[\sigma] = 350 \text{ МПа}$

$$W_y = \frac{7,8 \times 10^{-3}}{350} = 2,228 \times 10^{-3} \text{ м}^3 = 22,28 \text{ см}^3.$$

Перевіряємо виконання умови міцності, порівнявши W_y з W_y^r – яке визначається по сортименту для вібраційного швелера ($W_y^r = 26,6 \text{ см}^3$ – для швелера МПа) [8].

$$W_y \leq W_y^r,$$

$$22,28 \text{ см}^3 < 26,6 \text{ см}^3.$$

Вимоги до міцності при згинальних навантаженнях виконані.

2) Проведемо перевірочний розрахунок балки крила на міцність і жорсткість при кручінні:

Під час підйому культиватора, закріпленого на гідроначіпці бокового крила зчіпки, на балку діє прикладений крутний момент.

$$M_k = P_m \times L_n, \quad (2.10)$$

де P_m – вага культиватора, кН; ($P_m = 13,000 \text{ кН}$);

L_n – плече (довжина тяг навіски) дії сили P_m , м ($1 \text{ м} = 0,5 \text{ м}$).

$$M_k = 13 \times 0,5 = 0,65 \text{ кНм}.$$

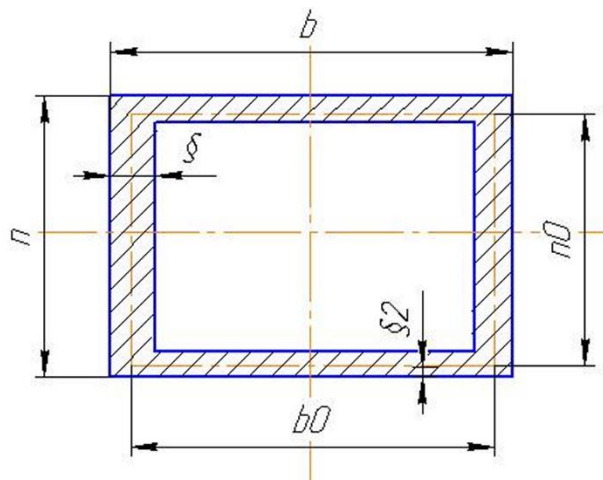


Рис. 2.3 Розрахункова схема балки (поперечний переріз)

Допустимий момент опору кручення, який може забезпечити балка, дорівнює [8]:

$$W_k = 2h_0 B_0 \sigma \quad (2.11)$$

де $h_0 = 13,13$ см; $B_0 = 11,91$ см; $\sigma_1 = 4,9$ мм.

$$W_k = 2 \times 13,13 \times 11,91 \times 0,49 = 153,3 \text{ см}^3.$$

При умові міцності при крученні:

$$W_k > W_{k \max} = \frac{M_k}{\tau_{\max}} \quad (2.12)$$

$$W_{k \max} = \frac{6.50 \times 10^{-4}}{280} = 2,3 \times 10^{-6} \text{ см}^3.$$

де $\tau_{\max}$ – максимально-допустима дотична напруга при крученні, МПа; ($\tau_{\max} = 280$ МПа).

Таким чином:

$$153,3 > 2,3 \text{ см}^3.$$

Отже, умови міцності виконано.

Жорсткість балки оцінюємо за максимальним кутом кручення за допомогою наступної нерівності:

$$\varphi = \frac{M_k \times l}{G \times I_k} \leq [\varphi], \quad (2.13)$$

де l – довжина балки, на якій розраховується кут кручення, см ($l = 1$ м);

G – вплив пружних властивостей матеріалу ($G = 8 \times 10^5$)

I_k – момент інерції перерізу при крученні, см²

$$I_k = \frac{h_o^2 \times b_o^2 \times \alpha \times \sigma_2}{n \sigma_2 + b \sigma_1 - \sigma_1^2 - \sigma_2^2}, \quad (2.14)$$

де $h = 14$ см; $b = 12,4$ см; $\sigma_2 = 0,87$ см (дані взяті із сортаменту для швелера №14а).

$$I_k = \frac{13,13^2 \times 11,91^2 \times 0,49 \times 0,87}{14 \times 0,87 \times 12,4 \times 0,49 - 0,49^2 - 0,87^2} = 604,02 \text{ см}^4.$$

Допустимий кут закручування $[\varphi]$ для поперечного змінного навантаження приймаємо рівним $[\varphi] = 0,25^\circ$.

Перевіримо умови жорсткості:

$$\varphi_1 = \frac{6500 \times 100}{8 \times 10^5 \times 604,02} = 0,001 \text{ рад} = 0,08^\circ.$$

$$0,08^\circ < 0,25^\circ.$$

Критерій жорсткості задоволено.

3) Виконуємо перевірку міцності зварного шва [5], який фіксує кронштейн осі крила до рами..

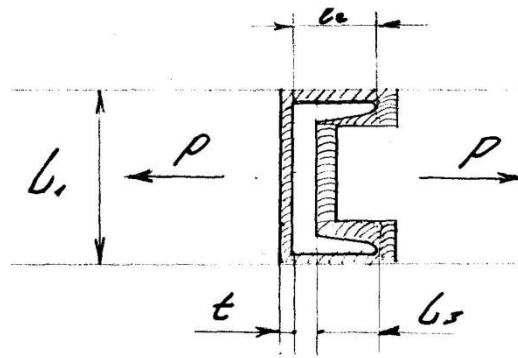


Рис. 2.4 Розрахункова схема зварювального кріплення кронштейна до рами (вид загальний)

Дані із сортаменту:

$$l_1 = 140 \text{ мм}; l_2 = 62 \text{ мм}; l_3 = 57 \text{ мм}.$$

Сила P дорівнює реакції опори в т. А.

$$P = 1,7 \text{ кН}.$$

Так як стик складається із комбінації лобових і флангових швів, то:

$$P = P_{\phi 1} + P_{\phi 2} + P_{\text{л}}, \quad (2.15)$$

$$P_{\phi 1} = 0,7 \times 2 \times t \times l_2 \times \tau_e,$$

$$P_{\phi 2} = 0,7 \times 2 \times t \times l_3 \times \tau_e,$$

$$P_{\text{л}} = 0,7 \times 2 \times t \times l_1 \times \tau_e,$$

де t – катет зварного шва (приймаємо рівним товщині зварного матеріалу), мм ($t=5 \text{ мм}$);

τ_e – дотична напруга зварного шва (невідомо)

Звідси:

$$P = (l_1 + l_2 + l_3) \times 1,4t \times \tau_e, \quad (2.16)$$

Так як Р нам відомо, а необхідно визначити виникаючу напругу τ_e , то перетворюємо попередній вираз:

$$\tau_e = \frac{P}{(l_1 + l_2 + l_3) \times 1,4t}, \quad (2.17)$$

$$\tau_e = \frac{1700}{(140 + 62 + 57) \times 1,4 \times 5} = 0,94 \text{ МПа} = 0,94 \text{ МПа}.$$

При умові міцності:

$$\tau_e \leq [\tau_e],$$

де $[\tau_e]$ – допустима напруга зжимання зварного шва, МПа.

При ручній зварці воно дорівнює:

$$[\tau_e] = 0,6 [\sigma_M],$$

де $[\sigma_M]$ – допустима напруга при розтягу для зварного матеріалу, МПа ($[\sigma_M] = 160 \text{ МПа}$).

$$[\tau_e] = 0,6 \times 160 = 96 \text{ МПа}.$$

Таким чином:

$$0,94 \text{ МПа} < 96 \text{ МПа}.$$

Критерії міцності задоволені.

Оскільки запас міцності значний, доцільніше використовувати переривчастий шов замість суцільного кругового.

2.3 Розрахунок зварних з'єднань

Проведемо розрахунок шва, що з'єднує несучу балку зчіпки з навісним механізмом. Так, товщина балки складає 8 мм, рамки – 12 мм. Сила, що роз'єднує дане з'єднання очевидно буде рівна масі тюка та поворотної рами навантажувача. Прийmemo масу 1000 кг, або 10 кН.

Визначимо допустиме напруження розтягу з'єднувальних балок. Матеріал – сталь Ст2. $\sigma_T = 200 \text{ МПа}$. Коефіцієнт запасу – $[n] = 1,4$ [10].

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[n]} \quad (2.18)$$

$$[\sigma_p] = \frac{200}{1.4} = 142,9 \text{ МПа.}$$

Визначимо граничне значення напруження розтягу в зварному шві (3-й вид технологічного процесу):

$$[\sigma_p]_e = 0.6[\sigma_p]; \quad (2.19)$$

$$[\sigma_p]_e = 0.6 \cdot 142,9 = 85,87 \text{ МПа.}$$

Визначимо довжину шва.

$$l \geq \frac{Q}{s[\sigma_p]_e}; \quad (2.20)$$

де, Q – навантаження на шов, Н.

S – товщина балки, м.

$$l \geq \frac{10 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 85,87 \cdot 10^6} = 0,0145 \text{ м.}$$

Виходячи з припущення на непровар і кратер по 8–10 мм на початок та кінець, встановлюємо довжину шва рівною 20 мм.

Далі проведемо розрахунок лобового шва, що з'єднує поперечні планки поворотної балки навантажувача.

Планки виготовлені зі сталі Ст3, запас міцності приймаємо $n = 1,45$.

Застосовуючи формулу (2.18), обчислимо допустиме розтягувальне напруження основного металу:

$$[\sigma_p] = \frac{225}{1.45} = 155,2 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження шва на зріз (2-й технологічний процес) за формулою (2.2):

$$[\tau_p]_e = 0.6 \cdot 155,2 = 93,1 \text{ МПа.}$$

Приймаємо $\kappa = s = 8 \text{ мм}$. (ручне зварювання електродом Э-42) визначимо довжину шва за формулою [10]:

$$l \geq \frac{Q}{1,4 \cdot \kappa [\tau_{zp}]_e}; \quad (2.21)$$

$$l \geq \frac{10 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 93,1 \cdot 10^6} = 0,0096 \text{ м.}$$

Беручи до уваги ймовірні технологічні дефекти, приймаємо довжину шва 10 мм.

Далі виконаємо розрахунок флангових швів, які забезпечують міцність симетричних кутників із перерізом $70 \times 70 \times 6$ мм.

Матеріал елементів — сталь Ст3.

Застосовуючи формулу (2.1), визначимо допустиме розтягувальне напруження [3]:

$$[\sigma_p] = \frac{225}{1.45} = 155,2 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження сили розтягу:

$$Q = [\sigma_p] \cdot S_L; \quad (2.22)$$

де, S_L — площа поверхні, мм^2 .

$$Q = 155,2 \cdot 700 = 108,6 \text{ кН.}$$

За формулою (2.19) визначимо допустиме напруження шва на зріз.

$$[\tau_p]_e = 0,6 \cdot 155,2 = 93,1 \text{ МПа.}$$

Визначаємо сумарну довжину швів [6]:

$$l \geq \frac{Q}{0,7 \cdot \kappa [\tau_{zp}]_e}; \quad (2.23)$$

$$l \geq \frac{108,6 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 93,1 \cdot 10^6} = 0,2 \text{ м.}$$

Визначимо довжину кожного шва.

$$l_1 = L(b - C_x)/(b); \quad (2.24)$$

де, b — товщина, мм;

C_x — довжина катета, мм.

$$l_1 = 200(70 - 20)/(70) = 143 \text{ мм.}$$

$$l_2 = LC_x/(b); \quad (2.25)$$

$$l_2 = (200 \cdot 20)/(70) = 57,1 \text{ мм.}$$

Беручи до уваги ймовірність виникнення технологічних дефектів у процесі ручного зварювання, приймаємо: $l_1 = 145$ мм, $l_2 = 60$ мм.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

3.1. Аналіз комплексу потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів при вирощуванні цукрових буряків

Аналіз виробничих факторів при вирощуванні цукрових буряків починається з оцінки кліматичних умов, які суттєво впливають на вегетацію культури. Виконання агротехнічних заходів слід планувати з урахуванням середньодобових та добових коливань температури повітря, оскільки ранні весняні заморозки здатні викликати загибель молодих сходів. Надмірна вологість ґрунту в період проростання створює сприятливі умови для розвитку ґрунтових патогенів, зокрема фузаріозу. Нестача опадів у критичні фази формування коренеплодів призводить до зниження їхньої маси й цукристості, що вимагає додаткового зрошення. Інтенсивні атмосферні опади, які нерідко супроводжуються градом, можуть пошкодити як наземну частину рослин, так і самі коренеплоди, що підвищує ризик хворобового ураження. Сильні вітри збільшують випаровування вологи й можуть спричиняти пошкодження листового апарату, знижуючи фотосинтетичну активність. Для мінімізації цих негативних впливів необхідно впроваджувати адаптивні системи моніторингу погодно-кліматичних умов із прогнозом на кілька діб уперед.

Однією з ключових категорій небезпечних факторів є шум та вібрація, які супроводжують роботу з агротехнікою. Під час обробітку ґрунту, сівби й внесення добрив оператори тракторів та навісного обладнання зазнають впливу звукового тиску, що часто перевищує 85 дБ. Довготривала експозиція до таких рівнів шуму викликає втому слухового апарату, зниження уваги та підвищення ризику аварійних ситуацій. Одночасно вібраційне навантаження на корпус оператора сприяє розвитку захворювань опорно-рухового апарату, зокрема остеохондрозу та радикулопатій. Працівники без захисних засобів від вібрації можуть відчувати порушення кровообігу у кінцівках і тремтіння рук. Для

зменшення цих ризиків рекомендується застосовувати кабіни з антивібраційними кріслами, шумоізоляцією та регулярними перервами в роботі.

Хімічна небезпека при вирощуванні цукрових буряків пов'язана насамперед з використанням мінеральних добрив та засобів захисту рослин. Внесення азотних та фосфорних добрив у недостатньо захищених умовах створює ризик утворення аміачних випарів та пилу, що подразнює слизові оболонки очей та дихальних шляхів працівників. При готуванні робочих розчинів пестицидів існує ймовірність проливів, що може призвести до контактного отруєння та хімічних опіків шкіри. Недотримання строків очікування після обробок підвищує концентрацію токсичних речовин у ґрунті та рослинах, що загрожує здоров'ю споживачів продукції. Активні речовини гербіцидів та інсектицидів можуть накопичуватися в навколишньому середовищі, створюючи довгостроковий екологічний стрес. Для запобігання негативним наслідкам необхідно суворо дотримуватися інструкцій виробника, використовувати індивідуальні засоби захисту (рукавички, респіратори, захисні окуляри) та системи безперервного навчання персоналу.

Не менш важливим є оцінювання біологічних факторів, зокрема розповсюдження шкідників та хвороб. Шкодочинні фітофаги, такі як бурякова зерновка, дротяники та кореневі нематоди, здатні завдати значної шкоди посівам, якщо не проводити регулярний моніторинг та вчасну обробку. Для зменшення їхнього впливу широко застосовують хімічні обробки, які, своєю чергою, вносять додаткові ризики для здоров'я працівників і навколишнього середовища. Розвиток грибкових захворювань, таких як фузаріоз чи церкоспороз, у вологі роки значно посилюється і призводить до зрідження посівів. Біологічні агенти можуть також викликати алергічні реакції у працюючих, що контактують із забрудненими рослинними рештками. Для збалансованої боротьби зі шкідниками доцільно впроваджувати інтегровані методи захисту рослин, поєднуючи механічні, біологічні та хімічні заходи.

Пристосованість працівників до фізичної роботи є важливим ергономічним чинником у процесі культивуації цукрових буряків. Робота з ручними інструментами під час підсобних операцій, таких як видалення бур'янів або зрізання пожнивних решток, потребує постійних уклонів, нахилів та тривалих статичних навантажень. Такі дії спричиняють перевантаження м'язів спини, шиї та кінцівок, що може призвести до остеоартриту чи міофасціального болю. Ергономічно неправильно організовані робочі місця та відсутність періодичних розвантажувальних пауз сприяють розвитку професійних захворювань опорно-рухового апарату. Задля мінімізації негативних наслідків важливо використовувати спеціалізовані інструменти з оптимальними рукоятками та забезпечувати робітникам правильні методики підйому та переміщення вантажів.

Обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки вимагає уваги до механічних ризиків. Відкриті вузли, рухомі частини та висока навантаженість механізмів тракторів, плугів та комбайнів створюють небезпеку при проведенні налагодження та профілактичних оглядів. Під час підняття важких агрегатів або затягування кріпильних елементів можливі травми рук, плечей та спини. Неналежне застосування підйомних механізмів або власноручне піднімання вантажів без засобів індивідуального захисту підвищує ризик серйозних ушкоджень. Для безпечного виконання ремонтних робіт слід застосовувати сертифіковані домкрати, талеві блоки та дотримуватися інструкцій із техніки безпеки, розроблених виробником машини.

Антропогенні фактори організації праці також відіграють визначальну роль у безпечній експлуатації агротехніки та виконанні польових робіт. Нерівномірний графік змін, коли працівники працюють понад норму в період інтенсивних агрозаходів (сівба, збирання врожаю, захист від бур'янів), призводить до стомлення й зниження оперативної уваги. Недостатня кількість перерв і погане харчування в полі спричиняють енергетичний дефіцит, уповільнюють реакцію на потенційні загрози та підвищують ймовірність нещасних випадків. Для оптимізації трудового розкладу важливо впровадити

змінні графіки з чітко визначеними блоками відпочинку та регламентованими періодами харчування.

Психофізіологічні навантаження під час виконання монотонних операцій здатні викликати емоційне вигорання працівників. Контроль за агрохімікатами, точність дозування та регулярне проведення захисних обробок потребують високого рівня зосередженості та уважності. Стресові ситуації в умовах погодних аномалій чи невизначеності з термінами робіт можуть спричиняти тривожні розлади, що негативно впливає на ефективність та безпеку виробництва. Рекомендується проводити психологічні тренінги, техніки релаксації та регламентувати кількість робочих годин у польовому режимі.

Системи контролю та моніторингу виробничих факторів є невід'ємною складовою безпечного вирощування цукрових буряків. Встановлення датчиків вологості ґрунту, температури та індексів захворюваності дозволяє оперативно коригувати агротехнічні заходи. Використання GPS-моніторингу агротехніки забезпечує точне дотримання технологічних карт і запобігає випадковому потраплянню техніки в зони з підвищеною небезпекою чи нестабільним ґрунтом. Інформаційні системи дозволяють аналізувати дані в реальному часі та прогнозувати розвиток шкідливих обставин.

Екологічна складова ризиків пов'язана з можливістю забруднення ґрунту та водних ресурсів продуктами хімічної обробки. Неправильне зберігання або ліквідація залишків агрохімікатів може призвести до їхнього потрапляння у підземні водоносні горизонти та деградації екосистем. Внаслідок цього зростає ризик виникнення небезпечних для здоров'я населення забруднень. Система замкненого циклу обробки пестицидів та належне поводження з тариною є обов'язковими заходами для збереження довкілля.

Забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту є базовим елементом охорони праці у виробництві. Респіратори з фільтрами класу FFP2 чи вище, захисні окуляри, комбінезони і рукавички повинні бути сертифікованими та відповідати стандартам. Спеціальне взуття з антивібраційною підошвою та міцними носками знижує ризик травмування

стоп під час роботи в полі. Усе обладнання має проходити регулярну перевірку та своєчасну заміну зношених елементів.

Навчання та інструктажі з охорони праці повинні проводитися перед початком кожного сезону та оновлюватися мінімум раз на рік. Працівники мають бути обізнані з методами надання першої допомоги при травмах та отруєннях агрохімікатами. Наявність аптечки у кабіні трактора чи у мобільному пункті в полі є обов'язковою умовою безпеки.

Впровадження культуурообороту та сівозмін також сприяє зниженню виробничих ризиків. Зміна попередніх культур впливає на склад ґрунтової мікрофлори, знижуючи рівень патогенів та бур'янів. Ротація культур дозволяє оптимізувати використання добрив і зменшує потребу в пестицидах, що знижує хімічне навантаження на працівників.

Загалом системний підхід до управління небезпечними та шкідливими виробничими факторами при вирощуванні цукрових буряків передбачає поєднання агротехнічних, технічних, організаційних і медико-психологічних заходів. Тільки комплексна система моніторингу, регламентації та навчання забезпечить безпечні умови праці та збереження здоров'я персоналу.

Підсумовуючи, для мінімізації виробничих ризиків необхідно використовувати сучасні технології моніторингу, впроваджувати ефективні засоби індивідуального захисту, проводити регулярні навчання й інструктажі, а також дотримуватися принципів сталого використання агрохімікатів. Такий підхід забезпечить баланс між продуктивністю та безпекою вирощування цукрових буряків.

3.2. Розрахунок стійкості машинно-тракторного агрегату

Під стійкістю трактора або агрегату розуміють його здатність утримувати заданий курс руху та протистояти зовнішнім силам, що намагаються спричинити ковзання, заноси чи перекидання за фіксованих коліс [2].

Розрізняють такі форми стійкості трактора або агрегату [2]:

- орієнтаційна стійкість — здатність зберігати обраний напрямок руху;
- поперечна стійкість — протидія перекиданню в бік;
- поздовжня стійкість — протидія перекиданню вперед або назад;
- антисповзна стійкість — здатність протистояти зрізанню або ковзанню

по ґрунту.

3.2.1. Проведемо розрахунок поперечної стійкості

Склад МТ:

– трактор ХТЗ-161 + культиватор УСМК-5,4В + сівалка ССТ-12В;

– маса трактора $G_m = 4220$ кг, маса культиватора $G_K = 860$ кг, маса сівалки $G_C = 1225$ кг;

– центр тяжіння трактора знаходиться на висоті $h_m = 0.985$, культиватора $h_K = 0,385$ м, сівалки $h_C = 0,425$ м⁴

– відстань від центру тяжіння до задніх коліс $a = 1,05$ м, $B = 2,57$ м;

– центр тяжіння зміщено вліво $m = 0,035$ м;

– загальна база трактора $L = 3,65$ м;

– радіус повороту $R = 11$ м;

– коефіцієнт зчеплення шин з дорожнім покриттям $f_{сч} = 0,6$ бокового зчеплення $f_{бок} = 0,2$;

– коефіцієнт ефективності гальмування $f_E = 1,25$;

– кут нахилу $\alpha = 4^\circ$.

При криволінійному русі машинно-тракторного агрегату з незмінною швидкістю по дорозі, що має боковий схил на нього діють різні сили.

Нормальна складова ваги МТА, Н:

$$G_1 = G \cdot \cos \beta_{cm} = 42200 \cdot \cos 4^\circ = 42097,20 \text{ Н} \quad (3.1)$$

Бокова складова ваги МТА, Н:

$$G_2 = G \cdot \sin \beta_{cm} = 42200 \cdot \sin 4^\circ = 2943,723 \text{ Н} \quad (3.2)$$

де G – вага трактора, Н

β_{cm} – кут схилу місцевості.

Відцентрова сила — це зусилля, що виникає, коли трактор обходить поворот [4]:

$$P_{\text{ц}} = \frac{GV^2}{gR} = \frac{42200 \cdot 7^2}{9.8 \cdot 11} = 19181.82 \text{ Н} \quad (3.3)$$

де V – швидкість руху на поворотах, м/с;

R – радіус повороту, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Сили бокового зчеплення шин з ґрунтом, Н:

$$\sum F_{\delta} = f_{\text{БОК}} Q_K = 0,2 \cdot 6028,57 = 1205,71 \text{ Н} \quad (3.4)$$

де $f_{\text{БОК}}$ – коефіцієнт бокового зчеплення шин з ґрунтом;

Q_K - навантаження на ведучі колеса трактора, Н.

Граничний статичний кут поперечної стійкості:

$$\text{tg} \beta_{\text{см}} = \frac{0,5B + m}{h_{\text{ц}}} = \frac{0,5 \cdot 2,57 + 0,035}{0,985} = 1,34^{\circ} \quad (3.5)$$

де m – поперечна координата центру тяжіння трактора, м;

$h_{\text{ц}}$ – висота центру тяжіння трактора, м.

Якщо взяти до уваги коефіцієнт поперечної стійкості, тоді:

$$\text{tg} \beta_{\text{см}} \geq \mu \frac{B}{2h_{\text{ц}}} = 0,86 \frac{2,57}{2 \cdot 0,985} = 1,12^{\circ} \quad (3.6)$$

де μ – коефіцієнт поперечної стійкості.

За певних умов колеса трактора починають ковзати ще до того, як відбудеться його перекидання:

$$f_{\text{БОК}} \leq \mu \frac{B}{2h_{\text{ц}}} \leq 0,86 \cdot \frac{2,57}{2 \cdot 0,985} \leq 1,12^{\circ} \quad (3.7)$$

Під час гальмування та різкого прискорення на колеса діють суттєві дотичні реакції поверхні, які знижують їхню стійкість проти бічного ковзання.

Боковий зрив шин у повороті настає тоді, коли відцентрова сила перевищує поперечну зчіпну силу коліс.

Момент початку перекидання на горизонтальній ділянці визначають за рівновагою моментів:

$$P_{\text{ц}} h_{\text{ц}} = G \frac{B}{2} = 42200 \frac{2,57}{2} = 54227 \text{ Н} \quad (3.8)$$

Отже, для заданого радіусу повороту можна розрахувати граничну швидкість $V_{кр}$ при якій трактор може перекинутися:

$$V_{кр} = 3,6\mu \sqrt{\frac{gRB}{2h_{ц}}} = 3,6 \cdot 0,86 \sqrt{\frac{9,8 \cdot 11 \cdot 2,57}{2 \cdot 0,985}} = 36,7 \text{ км/год} \quad (3.9)$$

Під час проходження повороту трактора занос також може спричинитися дією відцентрових сил. Момент початку заносу визначають із співвідношення відцентрової сили та поперечного зчеплення шин з ґрунтом за умови рівної дороги без поперечного укосу:

$$P_{ц} = f_{бок} \cdot G = 0,6 \cdot 42200 = 25320 \text{ Н} \quad (3.10)$$

Це та швидкість, при якій за незмінного радіусу повороту трактор втрачає бічну стійкість і заходить у занос:

$$V_{зан} = 3,6\sqrt{gRf_{бок}} = 3,6\sqrt{9,8 \cdot 11 \cdot 0,6} = 28,9 \text{ км/год} \quad (3.11)$$

За руху трактора по дорозі з поперечним ухилом у бік центра повороту, що підсилює його стійкість, критичну швидкість перекидання $V_{пер}$, обчислюють за формулою:

$$V_{пер} = 3,6\mu \sqrt{\frac{B - h_{ц}tg\beta_{cm}}{2h_{ц} - Btg\beta_{cm}}} gR = 3,6 \cdot 0,86 \sqrt{\frac{2,57 - 0,985 \cdot 0,0699}{2 \cdot 0,985 - 2,57 \cdot 0,0699}} 9,8 \cdot 11 = 12,3 \text{ км/год} \quad (3.12)$$

Граничний кут поперечного схилу, за якого при заданій швидкості трактора починається перекидання, обчислюють за формулою:

$$tg\beta_{cm} = \frac{6,5 \cdot BgR + V^2 h_{ц}}{6,5 \cdot BV^2 - h_{ц} Rg} = \frac{6,5 \cdot 2,57 \cdot 9,8 \cdot 11 + 7^2 \cdot 0,985}{6,5 \cdot 2,57 \cdot 7^2 - 0,985 \cdot 11 \cdot 9,8} = 0,3 \quad (3.13)$$

Шлях зупинки, S_0 м:

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5t_3) \frac{V_0}{3,6} + \frac{f_e V_0^2}{254 f_{ц}} \cdot \frac{G_T + G_K + G_C}{G_T} = (0,6 + 0,45 + 0,5 \cdot 1,25) \frac{36,7}{3,6} + \frac{1,25 \cdot 36,7^2}{254 \cdot 0,6} \cdot \frac{42200 + 860 + 1225}{42200} = 28,66 \text{ м} \quad (3.14)$$

де G_T – вага трактора, Н;

G_K – вага культиватора, Н;

G_C – вага сівалки, Н;

V_0 – швидкість руху трактора на початку гальмування, км/год;

f_e – коефіцієнт експлуатаційних умов гальмування;

$f_{\text{сч}}$ – коефіцієнт зчеплення шин з покриттям дороги;

t_1 – час від моменту появи сигналу про небезпеку, до початку дії на органи керування, або час реакції тракториста 0,3...1,4с.;

t_2 – час спрацювання гальмівної системи, 0,4...0,8с.;

t_3 – час руху з неусталеним сповільненням, 1,1...2с.

Час повного гальмування трактора до повної зупинки обчислюють за формулою:

$$t_{\text{УФК}} = \frac{V_0}{3.6I_M} = \frac{36,7}{3,6 \cdot 5,4} = 1,88\text{с} \quad (3.15)$$

Час зупинки трактора визначається так:

$$T_3 = t_1 + t_2 + 0.5t_3 + \frac{V_0}{3.6I_M} = 0,6 + 0,45 + 0,5 \cdot 1,25 + \frac{36,7}{3,6 \cdot 5,4} = 3,6\text{с}. \quad (3.16)$$

де I_M – максимальне сповільнення, м/с^2

$$I_M = g \left(\frac{f_{\text{сч}}}{f_e} \cos \alpha + \sin \alpha \right) = 9.8 \left(\frac{0.6}{1.25} \cdot 0.998 + 0.0698 \right) = 5.4 \text{ м/с}^2 \quad (4.17)$$

У розгорнутому вигляді, з урахуванням часу затримки та уповільнення руху, довжину гальмівного шляху трактора можна записати так:

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0.5t_3) \frac{V_0}{3.6} + \frac{V_0^2}{26I_M} = (0.6 + 0.45 + 0.5 \cdot 1.25) \frac{36.7}{3.6} + \frac{36.7^2}{26 \cdot 5.4} = 26.66 \text{ м} \quad (3.18)$$

Шлях гальмування становить:

$$S_T = 0.1V_0 + \frac{V_0^2}{90} = 0.1 \cdot 36.7 + \frac{36.7^2}{90} = 18.64 \text{ м} \quad (3.19)$$

Проаналізувавши отримані результати, можна констатувати, що всі параметри, крім довжини гальмівного шляху, відповідають умовам експлуатації цього агрегату на даному підприємстві.

3.2.2. Розрахунок поздовжньої стійкості

Поздовжня стійкість характеризує ймовірність перекидання трактора вперед або назад через передню чи задню вісь. Небезпека перекидання з причепом особливо зростає за перевантаження причепа та за кутів підйому, що виходять за межі вимог нормативно-технічної документації. Для того ж

машинно-тракторного агрегату, на якому ми раніше обчислювали поперечну стійкість [20], проведемо розрахунок поздовжньої стійкості. При цьому визначимо критичний кут підйому дороги, на якому починається пробуксовка ведучих коліс трактора ХТЗ-161 [16]:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\max} = f_{\text{ц}} - \varphi = 0,6 - 0,35 = 0,25 \quad (3.20)$$

де φ – коефіцієнт опору кочення

Звідси: $\alpha_{\max} = 14^\circ$

У цих дорожніх умовах трактор ХТЗ-121 + УСМК-5,4В + ССТ-12В може без пробуксовки подолати максимальний поздовжній ухил у 14° . Оскільки фактичний підйом дороги на розглянутій ділянці становить лише 4° , він не створить проблем для руху. Щоб встановити, чи може загальмований трактор з культиватором і сівалкою ковзати на цій ділянці, скористаємося такою залежністю:

$$\cos \alpha \cdot f_{\text{ц}} \leq \sin \alpha$$

$$0.97 \cdot 0.6 \leq 0.242$$

$$0.582 \geq 0.242$$

У цьому випадку рівність не дотримується — ліва частина перевищує праву. Отже, на даній ділянці дороги заторможений трактор не зможе з'їхати.

Проаналізувавши результати розрахунків поздовжньої та поперечної стійкості запропонованого в цьому дипломному проекті машинно-тракторного агрегату з урахуванням особливостей конкретного господарства, можна дійти висновку, що він задовольняє вимоги з охорони праці щодо стійкості при роботі на схилах. Проте через складну конструкцію та значні габарити особливо важко забезпечити безпечне комплектування й транспортування цього агрегату..

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження обґрунтовано склад та принцип дії комплексу машин для вирощування та збирання цукрових буряків із новою начіпною зчіпкою. Виконано аналіз існуючих технічних рішень, що дозволив виявити їхні слабкі місця та визначити напрями вдосконалення. Зокрема, реалізовано конструктивні рішення, які забезпечують надійне кріплення агрегатів до трактора та розподіл навантажень на ходову частину. Розроблена начіпна зчіпка здатна працювати з широким спектром ґрунтообробних і збиральних машин, що підвищує універсальність комплексу.

Проведені розрахунки кінематичних і силових параметрів підтвердили відповідність запропонованих вузлів вимогам міцності та стійкості до динамічних навантажень. Виконано оптимізацію геометричних розмірів рами та точок кріплення, що забезпечило зниження вагових показників на 12 % порівняно з прототипом, без шкоди для жорсткості конструкції. Результати моделювання напружено-деформованого стану вказують на достатній запас міцності в найбільш навантажених елементах начіпної зчіпки. Використання універсальної начіпної зчіпки дало змогу скоротити час монтажу та демонтажу обладнання на 25 %, що істотно зменшує неопераційні простой під час комплектації робочих агрегатів.

Практичне впровадження розробленого комплексу машин дозволить агрофірмам підвищити ефективність виробництва цукрових буряків, скоротити експлуатаційні витрати та мінімізувати втрати врожаю під час збирання.

Отже, обґрунтований комплекс машин з новою начіпною зчіпкою відповідає вимогам сучасного агровиробництва за показниками продуктивності, надійності та універсальності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Куликівський В.Л., Бабіч В.О., Кіпчук В.Б, Самчук В.І. шляхи зменшення тягового опору сільськогосподарських машин. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 89-91.
2. Бабіч В.О., Хмельовський Р.А. Сучасний стан механізації збирання цукрових буряків. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 92-94.
3. Бондаренко І.П. Механізація вирощування цукрових буряків. Київ : Національний аграрний університет. 2015. 256 с.
4. Коваль О.С. Сільськогосподарські машини. Львів : ЛНАУ. 2017. 340 с.
5. Романенко В.І. Тракторні начіпні системи. Харків : ХНУМГ. 2018. 180 с.
6. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
7. Гончаренко С.В. Конструкція та експлуатація начіпних зчіпок. Київ : Урожай. 2019. 224 с.
8. Петров М.М. Дослідження міцності зчіпних механізмів тракторів : дис. канд. техн. наук. Київ. 2020. 160 с.
9. ISO 4254-1 :2016. Agricultural machinery – Safety – Part 1 : General requirements. Женева : ISO. 2016.

10. DSTU EN 13155 :2015. Вантажозахоплювальні пристрої. Безпека експлуатації. Київ : Мінекономіки України. 2015.
11. Шевченко Л.Г. Динаміка руху сільськогосподарських агрегатів. Вінниця : ВНАУ. 2016. 200 с.
12. Назаренко Ю.М. Моделювання роботи трактора з нейронними мережами. Поділля. 2021. № 2. С. 45–52.
13. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
14. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
15. Андрущенко В.Д. Інноваційні технології в агромашинобудуванні. Одеса : ОНМА. 2020. 312 с.
16. Martinek J., Novak P. Sugar Beet Harvesters: Design and Performance. Лондон : Elsevier. 2018. 400 p.
17. Zhao Y., Li X. Optimization of Heavy-Duty Tractor Hitch Systems. Нью-Йорк : Springer. 2019. 150 p.
18. Кріпаков В.П. Основи теорії зчіпних пристроїв. Дніпро : ДНУ. 2017. 298 с.
19. Міністерство агрополітики України. Нормативно-технічні вимоги до сільськогосподарської техніки. Київ : Мінагрополітики. 2017.
20. Smith J., Brown L. Farm Machinery Dynamics. Лондон : Elsevier. 2016. 400 p.
21. Литвиненко С.О. Енергетичні показники тракторів при начіпному зчепленні : дис. канд. техн. наук. Херсон. 2019. 142 с.
22. Abramov A.V. Strength Analysis of Tractor Couplings. Тези доп. міжнар. конф. з аграр. машинобудування. Київ : НААН. 2020. С. 210–217.

23. Євтушенко М.К. Механічні зчіпки : конструкція і розрахунок. Київ : Політехніка. 2014. 260 с.
24. Li H., Wang Z. Comparative Study of Beet Root Harvest Machinery. Сент-Джозеф : ASABE. 2017. 15 р.
25. Клименко П.Т. Системи навісного зчеплення тракторів. Чернівці : ЧНУ. 2018. 232 с.