

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ПОПОК ВІКТОРІЯ ІВАНІВНА

УДК 631.363.2

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ
БУРЯКІВ

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.І. Попок

Керівник роботи

Грудовий Р. С.

кандидат технічних наук

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Попок Вікторія Іванівна. Оптимізація системи машин для збирання цукрових буряків. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

У кваліфікаційній роботі проведено підбір та оптимізацію заходів та засобів збирання цукрових буряків з точки зору зменшення налипання ґрунту на коренеплоди та засмічення маси. Найбільша засміченість коренеплодів спостерігається при їх викопуванні із вологого суглинкового ґрунту.

Основною проблемою є те, що основна маса копачів в процесі викопування притискають ґрунт до буряка, після цього ґрунт міцно тримається на поверхні коренеплоду і досить важко видаляється. Метою дослідження було оптимізувати та покращити процес збирання цукрових буряків, шляхом зниження ефекту налипання ґрунту під час викопування.

Налипання ґрунту під час екстракції буряків та транспортування і очистку застосовували роторно-башмакові підйомники, порівнювали зі звичайним лемішним копачем. В результаті звичайного викопування у 50% коренеплодів на поверхні було до 30 % ґрунту. Застосувавши швидкісне викопування та протягування по гвинтовій траєкторії малого кроку забезпечило зниження налипання до 8% , а це зниження на 40%. Застосування роторного викопувача призвело до зниження показника налипання ґрунту до 15%.

Щоб забезпечити теоретичну основу для дослідження викопувального апарату змодельовали процес екстракції. Новий метод мав значний вплив на напружений стан ґрунту навколо коренеплоду. За результатами цього дослідження встановлено рекомендації по оптимізації машин та робочих органів, при збиранні буряків, у важких умовах.

Ключові слова: цукрові буряки, оптимізація, система машин, викопувач.

SUMMARY

Popok Victoria. Optimization of the system of machines for harvesting sugar beets. - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 Agroengineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the qualification work, the selection and optimization of measures and means of harvesting sugar beets in terms of reducing soil sticking to roots and clogging the mass. The greatest clogging of roots is observed when digging them out of moist loamy soil.

The main problem is that the bulk of the diggers in the process press the soil to the beets, after which the soil is firmly held on the surface of the root crop and is quite difficult to remove. The aim of the study was to optimize and improve the process of sugar beet harvesting by reducing the effect of soil sticking during digging. Sticking of the soil during beet extraction and transportation and cleaning was used by rotary-shoe hoists, compared with a conventional ploughshare digger.

As a result of conventional digging, 50% of root crops had up to 30% of soil on the surface. Applying high-speed excavation and drawing on a helical trajectory of a small step provided a reduction of adhesion to 8%, which is a reduction of 40%.

The use of a rotary excavator has reduced the adhesion of the soil to 15%. To provide a theoretical basis for the study of the excavator simulated the extraction process. The new method had a significant effect on the stress state of the soil around the root crop. According to the results of this study, recommendations for the optimization of machines and working bodies, when harvesting beets, in difficult conditions.

Key words: sugar beets, optimization, machine system, excavator.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ ЗБИРАННЯ ТА ВИКОПУВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ	
1.1. Розвиток техніки збирання врожаю та підвищення їх продуктивності.....	7
1.2. Технічні засоби для збирання цукрових буряків	9
1.3. Очищення коренеплодів від ґрунту	11
Висновки до розділу 1.....	13
РОЗДІЛ 2. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ УТВОРЕННЯ НАЛИПАННЯ ҐРУНТУ НА ПОВЕРХНІ КОРЕНЕПЛОДУ ПІД ЧАС ВИКОПУВАННЯ	
2.1. Моделювання процесу екстракції коренеплода запропонованим способом.....	14
2.2. Результати моделювання вертикальної екстракції коренеплоду	22
Висновки до розділу 2.....	23
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ	
3.1. Дослідження та аналіз факторів оптимізації роботи коренезбирального комбайна.....	24
3.2. Рекомендації щодо оптимізації якості викопування цукрових буряків за посушливих умов	25
Висновки до розділу 3.....	29
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

ВСТУП

Актуальність теми. У світі 109 країн виробляють цукор, з них 38 з цукрових буряків; це насамперед країни з помірним кліматом, такі як Німеччина Франція, країни Центральної та Східної Європи, Сполучені Штати Америки.

Технологічний прогрес, який спостерігався в попередні роки, зі зростанням запиту на новий техпроцес викопування буряків, в теперішній час це «статус-скво», що призводить лише до заміни та оновлення вживаних машин.

Висновки експертів свідчать про те, що головка буряка тепер містить значно менше шкідливих речовин, які не містять цукру – завдяки прогресу розведення та вирощування – і що її також можна використовувати для ефективного отримання цукру, додатково вступає в дію[1, с. 245.].

Також необхідна технічна реакція на швидке зростання врожайності при вирощуванні буряків – доводиться транспортувати з поля все більші обсяги. Ці взаємозв'язки неминуче впливають на вимоги до технології збирання врожаю: збереження ґрунту, низький рівень втрат, якомога менше пошкоджень, відсутність залишків листя, прості в експлуатації та, ще, економічні[1, с. 266.].

На сьогодні система машин для збирання врожаю повинна бути в змозі належним чином зібрати та завантажити і транспортувати 100 000 рослин з гектара. Тому оптимізація систем машин для збирання цукрових буряків є досить актуальною задачею.

Мета роботи: оптимізувати механізований процес збирання цукрових буряків, шляхом зниження ефекту налипання ґрунту під час викопування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Виконати аналіз технологічних процесів та факторів, які впливають на якість збирання та викопування коренеплодів.
2. Провести динамічний аналіз утворення налипання ґрунту на поверхні коренеплоду під час викопування.
3. На підставі польових досліджень надати рекомендації щодо оптимізації якості викопування цукрових буряків за важких умов збирання.

Об'єкт дослідження – механізований процес збирання цукрових буряків.

Предмет дослідження – взаємозв'язок способу екстракції коренеплоду на утворення налипання ґрунту на його поверхні під час викопування.

Методи виконання роботи. Робота виконувалась із використанням методів теоретичного аналізу процесів, моделювання із застосуванням фундаментальних закономірностей теретичної механіки та опору матеріалів.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Попок В. І. Функція управління системою машин для збирання цукрових буряків / В.І. Попок, Р.С. Грудовий // Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021». 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 47-50.
2. Грудовий Р. С. Результати дослідження розподілу початкової маси цукрових буряків / Р.С. Грудовий, В.І. Попок // *Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021»*. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 57-61.
3. Грудовий Р. С. Аналіз методів та моделей дослідження систем машин для рільництва / Р.С. Грудовий, В.І. Попок // Біоенергетичні системи: матеріали V Міжн. наук.-практ. конф., Житомир : Вид.-во ПНУ, 2021. С. 134-137.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 32 сторінки рукописного тексту, 15 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ ЗБИРАННЯ ТА ВИКОПУВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

1.1. Розвиток техніки збирання врожаю та підвищення їх продуктивності

Типовий механізований технологічний процес збирання цукрових буряків, і транспортування буряків на завод включає сам урожай, транспортування з поля, тимчасове припольове зберігання в буряковому бурті, завантаження буряків на вантажівки та транспортування на місце переробки (рис. 1.1).

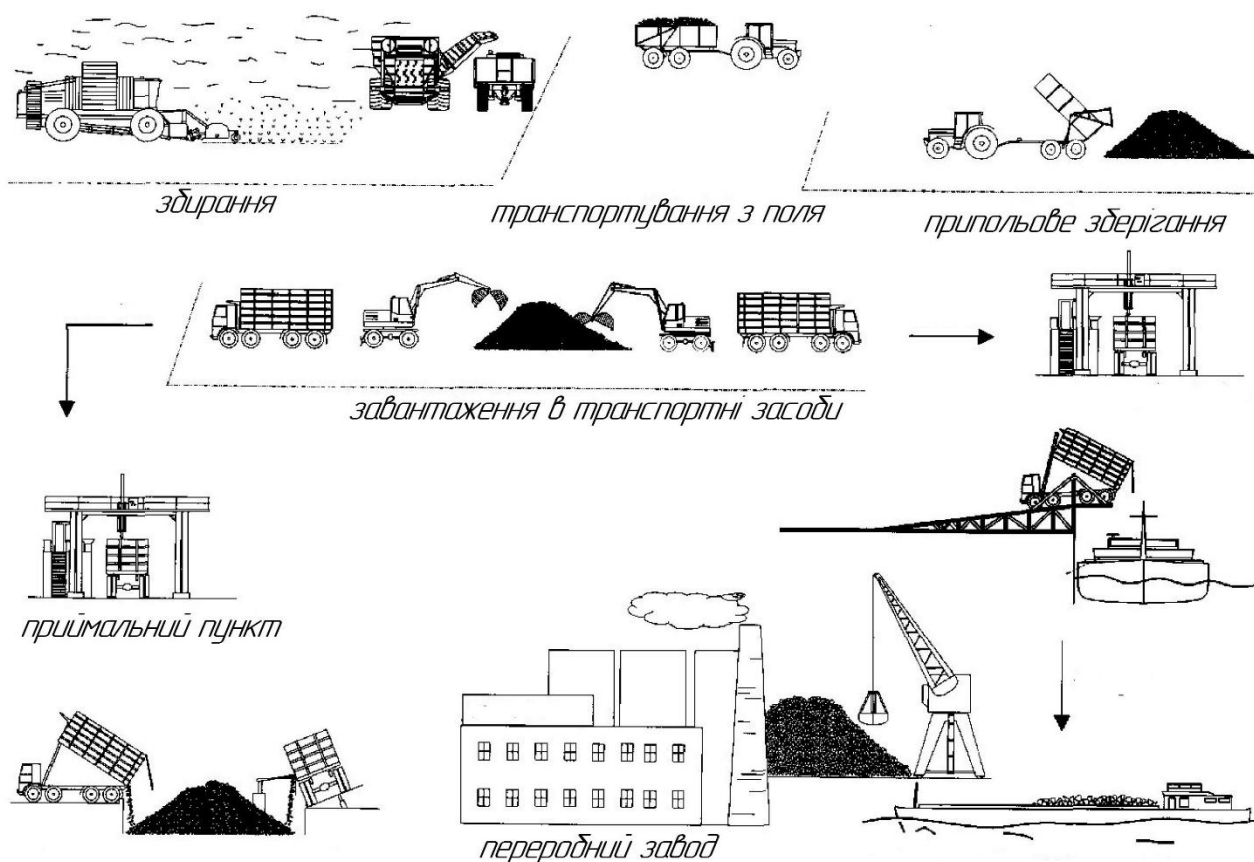


Рис. 1.1. технологічний процес збирання цукрових буряків

Як правило, сучасне механізоване збирання виконують комплексними, самохідними бурякозбиральними комбайнами, що поєднують такі фази збирання (рис 1.2):

- зрізання листя: додочистка головок коренеплодів (очисткою);
- топінг: видалення верхівки буряка (топпером); - екстракція: викопування буряка (бурякопідіймачами);
- очищення: видалення ґрунту з буряка (різними механічними пристроями); - завантаження бункера: транспортування до бурякового бункера (ланцюговим елеватором);
- бункерне накопичення: тимчасове зберігання буряка в бункері;
- розвантаження бункера: розвантажить бункер для буряків на причіп (ланцюговим типом).

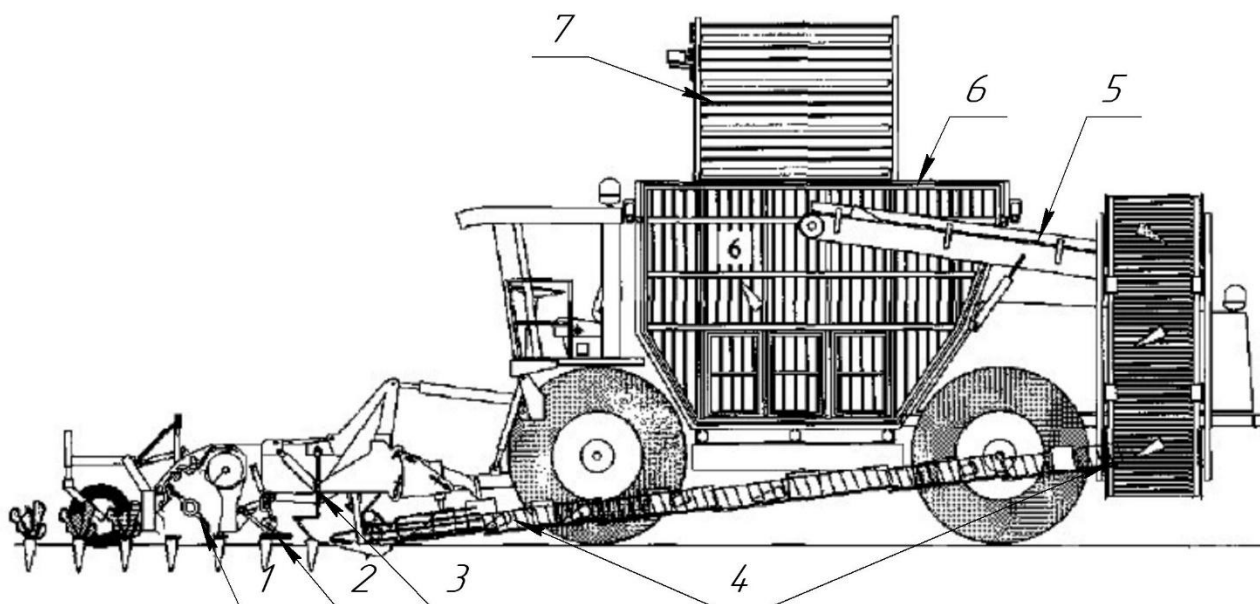


Рис. 1.2. Схематичне зображення процесу збирання в комплексному бурякозбиральному комбайні.

1 - очищувач листя; 2 – топпер; 3 – бурякокопачі; 4 - секція очищення; 5 - секція завантаження бункера; 6 – бункер; 7 - розвантажувальна секція.

Якість партії цукрових буряків визначається, як стандартна практика з відібраних проб на бурякоприймальній станції цукрового заводу, показники якості коригують за розрахунок розміру плати фермерам. Для цього необхідна якісна партія буряків, які визначаються хімічними характеристиками, такими як вміст цукру і індекс екстрагування, а також загальна кількість небажаного матеріалу (бруду та сміття) в партії коренеплодів. Відносна маса небажаного матеріалу кваліфікується як загальна тара, виражена в відсотках від загальної маси матеріалу, що транспортується. Непотрібний матеріал зазвичай складається з пухкого ґрунту, ґрунту, що прилягає до поверхні буряка, бадилля буряків, які були не видалені, залишки листя, бур'яни і каміння. Під час збирання коренеплодів у вантажівку завжди потрапляє і ґрунт, який транспортується на фабрику, незважаючи на зусилля з очищення. Налипший ґрунт, будучи частиною небажаного матеріалу, називається тарним ґрунтом. Відносна масу тари ґрунту зазвичай кваліфікують як ґрунтову тару, виражену у

відсотках від загальної маси буряка та небажаного матеріалу (валова тара ґрунту) або чистої бурякової маси (чиста тара ґрунту) [2]. Визначення тари ґрунту не є частиною стандартної оцінки якості буряка багато на заводі.

Перед обробкою буряк очищають, промиваючи великою кількістю води, тому що процес виробництва цукру вимагає дуже чистого буряка. Водний потік з частинками ґрунту, як правило, веде до осадових водойм, розташований біля заводу. Після відстоювання і висихання ґрунт видаляють та використовуються в цивільному будівництві, ландшафтних проектах тощо[3]. Завдяки додатковому очисному обробітку, на їхньому шляху від кагатів біля поля до приймального пункту заводу, тара ґрунту може зменшитись. Очистка коренеплодів під час завантаження на вантажівку, як правило, призводить до меншої тарності ґрунту[4].

Значна кількість досліджень і розробок була присвячена підвищенню загальної продуктивності бурякозбиральних комбайнів і продуктивності транспортерів до початку дослідної роботи, описаної в цій роботі.

1.2. Технічні засоби для збирання цукрових буряків

Розвиток техніки для збирання врожаю та підвищення її продуктивності, включаючи якість збирання та викопування, має історію близько 140 років. Типова сучасна система збирання врожаю, описана в пункті 1.1., є результатом цієї події.

Кінцева якість збирання врожаю загальної системи збирання є накопичений результат якостей, отриманих на кожній фазі. Розвиток механізованого збирання буряків Розвиток механізації збирання цукрових буряків детально розглянуто Карвовським (1974), Строкером (1982) та Дітгесом (1990).

Традиційно цукрові буряки виривали з корінням, витягуючи буряк із ґрунту за листя, допоміжний рухом вузької лопати (бурякової лопати) або вилки, коли з'явилася можливість повністю витягнути буряк із ґрунту,

прикладаючи до цього механічне зусилля стало стандартною практикою. З 1925 р. для оптимізації було випробовано багато різних лап і поворотних пристроїв проведення викорчовування. Карвовський (1974) і Дітгес (1990) розглянули основні види використовуваних підйомників (рис1.3).

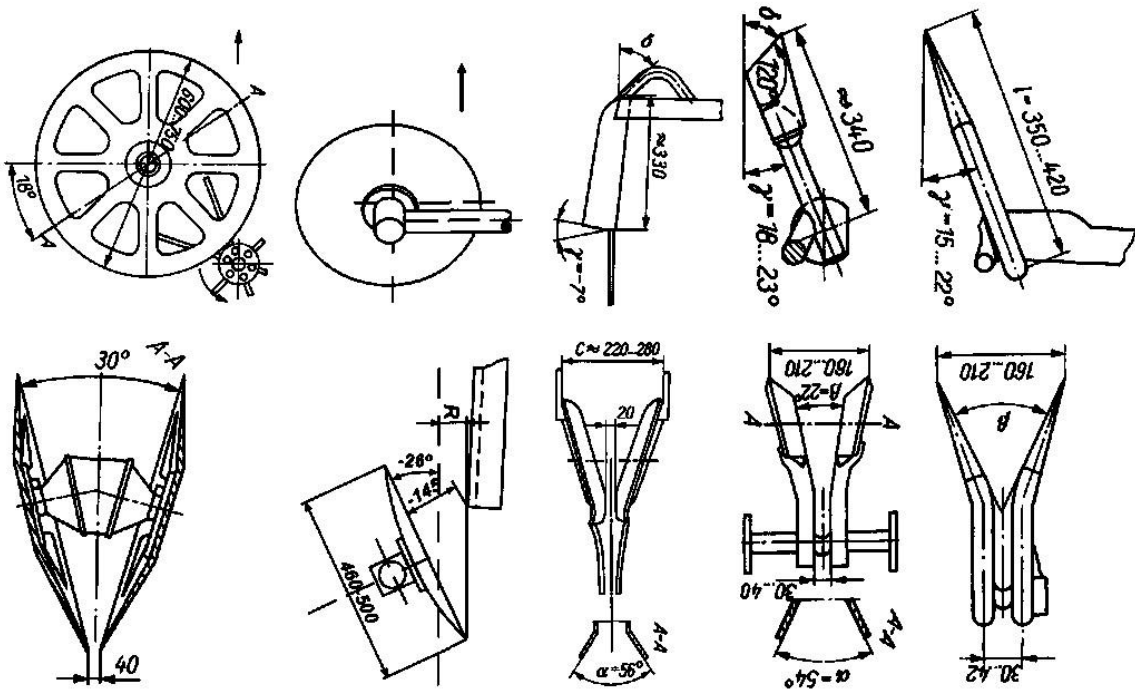


Рис. 1.3. Основні типи копачів, які застосовувались на коренезбиральних машинах

1.3. Очищення коренеплодів від ґрунту

Метою очищення є видалення ґрунту, каміння та відрізаних частин листя від матеріалу, піднятого за допомогою викопуючого пристрою. У дослідженнях з очищення буряків (Брінкмен, 1980; Діджес, 1990), частина, яку потрібно видалити з вхідного матеріалу зазвичай поділяється на фракції пухкий ґрунт (включаючи каміння і вільні частинки листя) та прилиплий ґрунт, який потребує іншого підходу до очищення.

Для специфічного очисного пристрою, прилиплий ґрунт іноді додатково поділяють на фракції «знімний» і «незнімний» прилиплий ґрунт (Brinkmann, 1985; Діджес, 1990). Прилипаюча фракція ґрунту, позначена як незнімна, включає ґрунт, що знаходиться в канавках буряка, який не вдалося видалити очищенням пристрій навіть після тривалого очищення. Найбільш часто використовувані пристрої для очищення буряків (рис. 1.4.) детально описано Karwowski (1974) і Ditges (1990).

Першим кроком у процесі очищення є видалення сипкого ґрунту. Для цієї мети, основні види очисних пристроїв використовують великі отвори, що пропускають ґрунт рештки проходять якомога швидше та запобігають потрапляння коренеплодів діаметром > 50 мм пройти.

Прилиплий ґрунт видаляється на наступному етапі чищення. З цією метою використовуються ті ж типи пристроїв, що і для видалення сипкого ґрунту, хоча з меншими отворами решітки. Метою цієї частини процесу очищення є послаблення прилипання ґрунту у поєднанні з ударом, тертям та шкрябанням та, одночасно видаляючи розпушений ґрунт шляхом просіювання.

Хоча всі звичайні очисні пристрої використовують комбінацію принципів очищення, відмінності між ними існують завдяки акценту на одному з принципів[3].

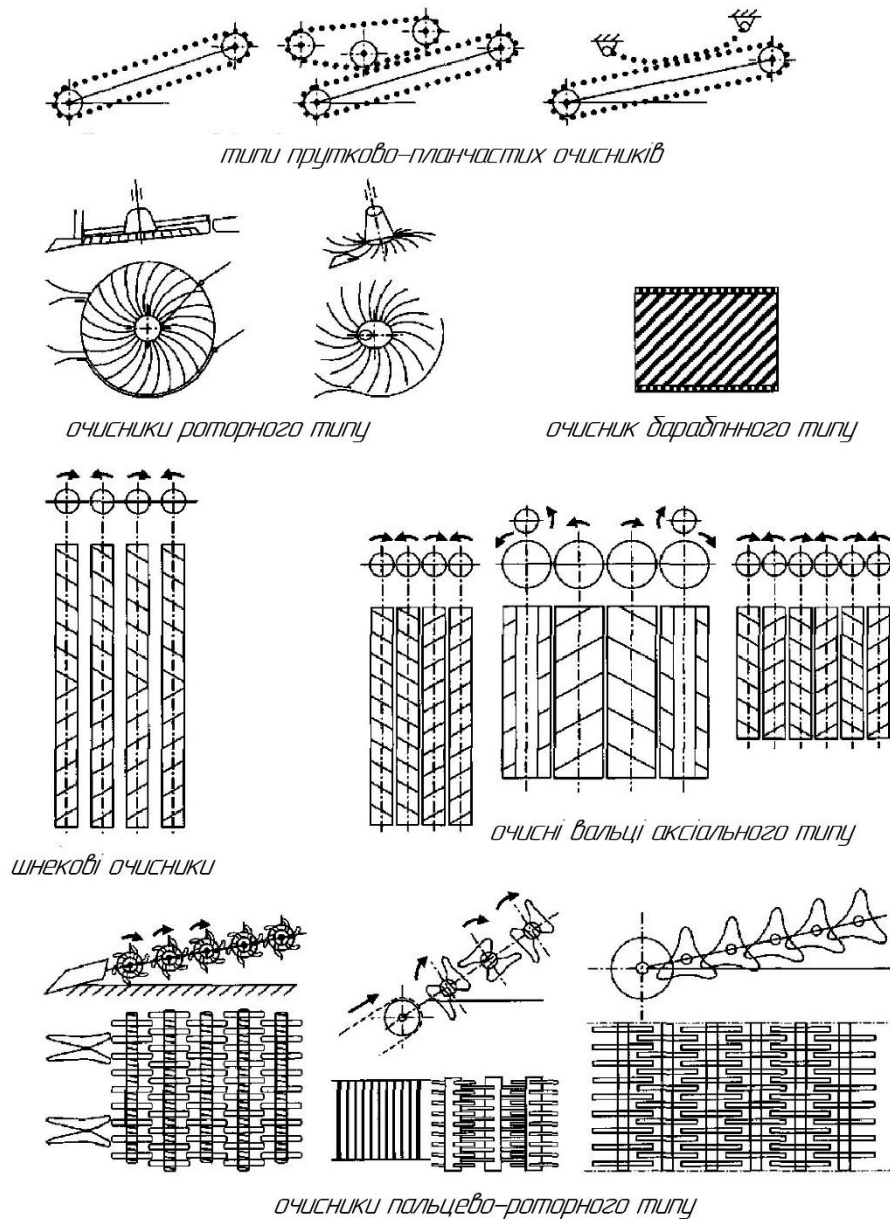


Рис. 1.4. Основні види очисних пристроїв, які використовуються на сучасних комбайнах

Вплив виникає в основному за рахунок лобового зіткнення буряка з робочими поверхнями машин. Внаслідок цих зіткнень у прилипаючому ґрунті виникають напруження або безпосередньо силами зіткнення або опосередковано силами інерції. У частині ґрунту ці напруження будуть перевищувати напруження руйнування, і ґрунт буде кришитися або деформуватися, залежно від пластичності ґрунту. Ефект очищення покращується при подовженні періоду очищення та під час пристрої

налаштовуються все більш агресивно, тобто при збільшенні швидкості системи і, отже, збільшуються сили, пов'язані з ударом, тертям і шабруванням. Однак загальна якість прибирання може погіршитися через збільшення поверхневого пошкодження, перелом коренів і втрати буряків.

Як правило, ступінь очистки зменшується зі збільшення пропускну здатності матеріалу а, отже, і швидкості руху комбайна[3,4].

Висновки до розділу 1

1. Найкращі результати при екстракції показують з комбіновані очисники з комбінацією рухів прямолінійним та обертовим. Відомо, що прилипання ґрунту після екстракції здається менш міцно прилягає до поверхні буряка, ніж після сучасної процес збирання врожаю.
2. Слід очікувати, що, потенційно, буряк зі слабо прилипаючим ґрунтом легше очищати, ніж буряк із сильно прилиплим. тому удосконалення процесу викопування на основі витягування буряків виглядає перспективний і був прийнятий як перший напрямок дослідження для даної роботи.
3. Ефект “перемішування” буряків означає, що буряк сильно прискорюється на дуже короткий час. Тому високе початкове прискорення буряка, інтегрованого в екстрагування, може також зменшити тарність ґрунту після вилучення. З цієї причини, дослідження впливу прискорення буряків під час екстрагування було прийнято як другий напрямок дослідження для даної роботи.
4. Розкриття причини низької тари ґрунту та слабого зчеплення з ґрунтом після екстрагування буряка можуть дати поштовх: для розробки вдосконалених пристроїв для викорчовування, крім складних механізованих бурякокопачів. Екстрагування в даний час є найбільш широко використовуваним способом для викопування коренеплодів з великим практичним значенням з точки зору задоволення вимог усіх аспектів техніки, включаючи прийнятну якість роботи. Враховуючи той факт, що наразі акцент робиться на якості роботи машин, тому

даний спосіб може бути застосований, відповідно до поточних вимог продуктивності бурякозбиральних машин.

РОЗДІЛ 2

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ УТВОРЕННЯ НАЛИПАННЯ ГРУНТУ НА ПОВЕРХНІ КОРЕНЕПЛОДУ ПІД ЧАС ВИКОПУВАННЯ

2.1. Моделювання процесу екстракції коренеплода запропонованим способом

Відмінності між тарністю і зчепленням ґрунту, виявлені для різних кореневих систем, способи екстракції та викопування коренеплоду, зумовлені різними реакціями ґрунту навколо буряка на прикладені зовнішні сили під час екстракції. Тому створена модель, що описує реакцію ґрунту на зовнішні навантаження було прийнято для моделювання поведінки ґрунту навколо коренеплоду. Відмінність полягає в кількості прилиплому шару ґрунту між відстанню і розрахунковою зоною початкового руйнування ґрунту та поверхнею буряка. Адгезія ґрунту, будучи емпіричним параметром, не може бути розрахована за допомогою математичної моделі. Оскільки на прилипання ґрунту впливає напружений стан ґрунту, але деякі ознаки зчеплення з ґрунтом після екстракції можна визначити, виходячи з напруженого стану.

Моделювання системи “ґрунт-буряковикопувальний” апарат та поведінки ґрунту в результаті зовнішніх навантажень в основному описується взаємозв'язок між напруженням і деформацією ґрунту. Для короткочасних і значних навантажень деформації або зсуві ґрунту, наприклад під час виривання цукрових буряків, можуть бути різні. Для моделювання поведінки ґрунту необхідно встановити типи взаємозв'язків напруження-деформація[6, с. 124].

У динаміці ґрунту, як правило, набір взаємозв'язків між напруженнями та деформацією ґрунту описані в так званих конститутивних моделях, сформульованих за допомогою математичних рівнянь, що описують різні види ідеальних реакцій матеріалу. Існують кілька моделей, що відрізняються за

складністю та сферою застосування. Найбільш часто використовують моделлю є модель Мора-Кулона, припускаючи, що пружний стан ґрунту зберігається до тих пір, поки ґрунт не руйнується при зсуві, і ідеально пластична поведінка після початкового стану.

Модель Мора-Кулона також була обрана для вирішення задачі екстракції коренеплоду тому що, як відомо, вона, добре підходить для моделювання поведінки ґрунту для широкого діапазону систем навантаження та на основі параметрів, які відомі про деякі сільськогосподарські ґрунти[6, с. 129].

В основному, модель Мора-Кулона вимагає двох параметрів еластичності, модуль пружності Юнга (E) і коефіцієнт Пуассона (ν), а також три параметри пластичності, зчеплення (c), кут внутрішнього тертя (φ) і кут дилатанції (ψ).

Умова відмови Мора-Кулона є розширенням закону тертя Кулона на загальні стресові стани. Фактично, ця умова гарантує, що закон тертя Кулона підкоряється в будь-якій площині в межах континууму. Умова відмови Мора-Кулона може зручно формулювати в термінах головних напружень (σ_1 , σ_2 і σ_3) і включає три функції [7,с. 215.]:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= \frac{1}{2}|\sigma_2 - \sigma_3| + \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3) \cdot \sin \varphi - c \cdot \cos \varphi \\
 f_2 &= \frac{1}{2}|\sigma_3 - \sigma_1| + \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) \cdot \sin \varphi - c \cdot \cos \varphi, \\
 f_3 &= \frac{1}{2}|\sigma_1 - \sigma_2| + \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \cdot \sin \varphi - c \cdot \cos \varphi
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Під час екстракції цукрових буряків у ґрунті також виникне напруження розтягу, що не є звичайним для інженерних проблем, для яких розроблено кулонівську модель. Відомо, що модель Мора-Кулона не надто прогнозує міцність на розтяг дуже адгезійних ґрунтів, таких як волога важка глина.

Щоб подолати це обмеження, у PLAXIS є так зване відключення натягу розширений варіант. Увімкнувши відключення, шостий параметр, допустима міцність на розрив (σ_t) додається до моделі Мора-Кулона і три вводяться додаткові (розтягувальні) функції руйнування[7,с. 215.]:

$$\begin{aligned} f_1 &= |\sigma_2 - \sigma_t|, \\ f_2 &= |\sigma_3 - \sigma_t|, \\ f_3 &= |\sigma_1 - \sigma_t|. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Усі функції плинності разом можна представити як поверхню відмов у просторі основних напружень. Для випадку, коли $\varphi = 0$ і $\sigma_t > 0$, поверхня відмови має форму шестикутної циліндричної призми, так званої поверхні текучості Треска (рис. 5.1).

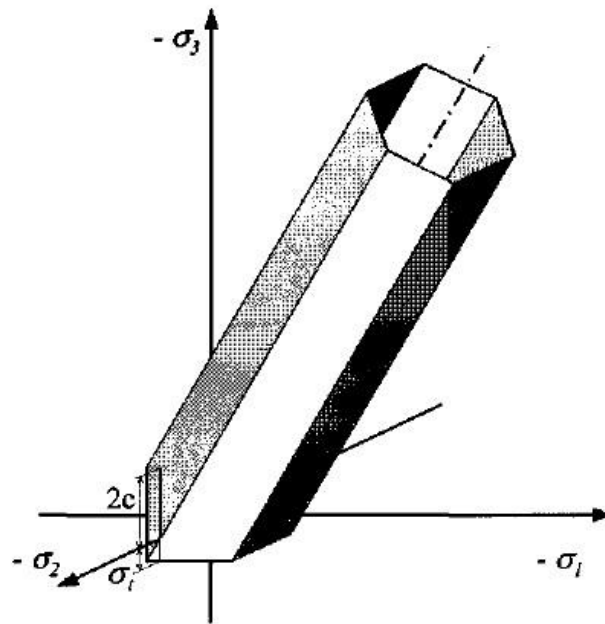


Рис. 2.1. Поверхня руйнування Треска в просторі головних напружень (σ_1 , σ_2 і σ_3) з розтягуванням на, σ_t

Введення основних характеристик ґрунту при моделюванні екстракції буряків проводили за допомогою Wageningen, помірно важкий мулистий суглинок у вологому стані, для якого більшість вхідних параметрів для PLAXIS були відомі (зона 00 [8]). Були відібрані проби цього ґрунту у вересні 2021 р. на

полі зрілих цукрових буряків. З цими зразками були проведені стандартні швидкі тривісні випробування при початковому натягу води 3 кПа, σ_3 200 кПа, швидкість вертикальної деформації 0,02 с⁻¹, до максимальної вертикальної штам 0,45. Початковий заповнений повітрям паровий простір становив 5%. Varneveld (1994) походить від виміряні значення кривої напруження-деформація E і ν шляхом застосування закону Бойля до захопленого повітря. Кут внутрішнього тертя ґрунту, ϕ , дорівнював нулю. Зчеплення, c , була отримана з виміряної міцності на зсув. Міцність ґрунту на розрив оцінили як $\sigma_t = 0,25 c$ (кПа). Оскільки всі вхідні параметри отримані з неосушених випробувань на вологих польових зразках, значення стосуються загального напруження, а не ефективного напруження.

Також в PLAXIS, загальне напруження аналізували шляхом вибору дренаваного ґрунту для розрахунків, ще означає, що створення додаткового гідростатичного тиску в PLAXIS було компенсовано.

Вівши характеристики кореневої системи одиночного цукрового буряка, за описом Кучери (1960), можна вважати типовим прикладом кореневої системи цукрових буряків. Ґрунт і коренева система знаходились на глибині до 50 см і до 60 см ліворуч і праворуч центру розташування (рисунок 2.2, зверху).

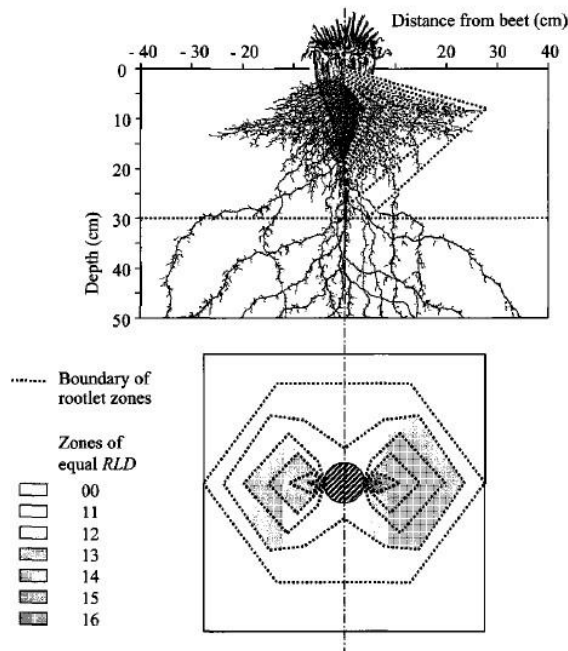


Рис. 2.2. Коренева система цукрових буряків у вертикальній площині, за Кучерою (1960), включаючи межі проєктованих зон передбачуваної рівної щільності довжини коренів (зверху),

Вплив кореневої системи сусідніх буряків був знехтуваний. Більшість коренеплодів виходить із борозенок стрижневого кореня (грушоподібний цукровий буряк) і утворюють густу мережу у верхній частині ґрунту навколо буряка, приблизно до 30 см від центру буряка. Від нижнього кінця стрижневого кореня, бічні коріння розгалужуються і ростуть у більш глибокі шари ґрунту.

На основі візуального огляду корінця закономірно загальний об'єм розглянутого ґрунту поділяли на вісім зон передбачається рівномірна щільність довжини корінців (тобто загальна довжина корінців на одиниця об'єму ґрунту ($\text{см}/\text{см}^3$)). а, отже, механічні характеристики відрізнялися між зонами (рис. 2.2). Буряковикопувальні системи для екстракції коренеплоду розглядається у двох вертикальних перерізах: у площинах через бурякові борозенки, і перпендикулярно до них. Система для екстракції буряків робить один оберт в горизонтальній площині на глибині 8 см нижче поверхні ґрунту. Оскільки немає опису форми кореневої системи в горизонтальній площині, то було зроблено припущення схематична форма (рис. 2.2, внизу). Зростання адгезії, Δc (кПа), і збільшення міцності на розтяг, $\Delta \sigma_t$ (кПа), ґрунту за рахунок корінців оцінювали для різних ґрунтових зон однакової довжини та щільності. Оцінювали середній діаметр корінця і відповідну міцність на розрив для кожної зони коренеплоду буряка. Щоб спростити оцінку, були зроблені наступні припущення:

- значення корінців у зчепленні та міцність ґрунту на розрив має однорідний та ізотропний характер;
- не відбувається ковзання корінців через ґрунт;
- напруження, при яких корінці руйнуються при зсуві, дорівнює напруженню, $\Delta c = \Delta \sigma_t$.

За дослідженнями Вінда та [10] відомо, що щільність по довжині корення (ЩДК) у верхньому шарі ґрунту (0-20 см) становить близько $3, 1/\text{см}^3$. На основі цього показника ми припустили, що ЩДК близький до зони розміщення коренеплоду дорівнює b і зменшується зі збільшенням відстані від рядка до значення 0 для площі без коренів. Щільність отримана на глибині нижче 30 см, становила приблизно 0,35. Ми припускаємо, що кількість корінців сприяє зчепленню і розтягуванню ґрунту $\text{ЩДК}/3$ на см^2 , що обумовлено трьома основними напрямками корінця зростання в 3-вимірному просторі. Встановлено, що середній діаметр (dk) корінців у шарі ґрунту глибина від 0 до 30 см становила 0,25 (мм), що збігається з площею поперечного перерізу (S_k) приблизно $0,05 (\text{мм}^2)$. Глибина нижче 30 см, dk становила в середньому 0,37мм.

Тоді діаметр корінців у шарі ґрунту глибиною від 0 до 30 см становить близько 0,40 мм і звужується до діаметра 0,15 мм на кінці коренеплоду.

За дослідженнями Гевко Б. М., Гевко Р. Б.[12], які встановили залежність міцності на розрив корінців цукрових буряків як функцію їх площі поперечного перерізу:

$$\ln(\sigma_{tk} \cdot 10^{-3}) = 1.85 - 0.32 \cdot \ln S_k, \quad (2.3)$$

де: σ_{tk} - міцність корінця на розрив (кПа).

S_k = площа поперечного перерізу корінця (мм^2).

У дослідженнях встановлено, що найменші корінці мали діаметр близько 1 мм, для яких міцність на розрив становить 6080 кПа, згідно з рівнянням (2.3)[13].

Використавши рівняння (2.3) для розрахунку міцності на розтяг корінців діаметром менше 1 мм призводить до нереально високих значень. Тому ми підрахували, що корені з діаметром, рівним або меншим за 1 мм, мають постійну міцність на розтяг, яка становить $\sigma_{tk} = 5500$ кПа.

Збільшення когезії, Δc , і міцності на розтяг σ ґрунту (табл. 3.1) були розраховані для кожної ґрунтової зони, зазначеної на (рис. 2.2), з виразу:

$$\Delta c = \sigma_t = 10 \cdot \left(\frac{\sigma_{tk}}{3} \right) \cdot F_k, \text{ кПа} \quad (2.4)$$

де: F_k = сила, при якій корінець руйнується при розтягу, обчислюється як:

$$F_k = \sigma_{tk} \cdot S_k \cdot 10^{-3}, \text{ Н} \quad (2.5)$$

Механічні характеристики самого цукрового буряка були введені в PLAXIS так само, як це було зроблено для ґрунту.

Таблиця 2.1.

Зведена характеристика кореневої системи цукрових буряків для розрахунку додаткової адгезії та реальної міцності ґрунту на розтяг.

Зона	ЩДК (1/см ³)	d _к , мм	S _к , мм ²	σ _{тк} , кПа	F _к , Н	Δс=Δσ _т , кПа
00	0	-	-	-	-	0
11	1	0.15	0.018	6,000	0.11	3
12	2	0.20	0.031	6,000	0.19	13
13	3	0.25	0.049	6,000	0.29	30
14	4	0.30	0.071	6,000	0.42	56
15	5	0.35	0.096	6,000	0.58	96
16	6	0.40	0.126	6,000	0.75	151
20 ¹	0.35	0.37	0.108	6,000	0.65	7

Примітка: ЩДК - щільність кореня по довжині; d_к - діаметр корінців; S_к - площа поперечного перерізу корінців; σ_{тк} - міцність корінців на розтяг; F_к = сила руйнування корінців при розтягуванні; Δс - додаткова адгезія за рахунок коренеплоду; Δσ_т - додаткова міцність на розрив завдяки корінцям. 20¹ > 30 см нижче поверхні ґрунту.

Механічні характеристики коренеплоду показують велику варіацію, частково через те, що внутрішні частини мають меншу міцність, ніж зовнішні.

Однак для розрахунків у програмі PLAXIS, були застосовані рівні характеристики для всієї довжини коренеалоду. Значення міцності на розтяг коренеплоду варіюються від 600 до 2800 кПа [13, с. 81]. Міцність на розрив 2000 кПа, є типовим значенням для нижньої частини буряка [12, с. 132], було прийнято для розрахунків [12, с. 132].

Вважаючи, що кут внутрішнього тертя ϕ дорівнює нулю для бурякового матеріалу, адгезію приймали рівною міцності на зсув. Міцність зсуву коливається від 300 до 1480 кПа [12, с. 132]. Для розрахунку в програмі PLAXIS було прийнято відносно високе значення 1000 кПа, враховуючи, що:

- теоретично міцність на зсув повинна бути не менше $0,5 \sigma_c$;
- міцність на зсув має тенденцію до збільшення зі зменшенням діаметра тіла коренеплоду;
- виміряні значення міцності на зсув завжди нижчі за реальні значення через прогресуючий характер процесу зрізу.

Значення модуля Юнга варіюються від 6400 до 14000 кПа [14, с. 56]. Для розрахунків було прийнято середнє значення 10 000 кПа. Коефіцієнт Пуассона для матеріалу цукрових буряків становить 0,39. Зведення вхідних параметрів ґрунту без коренів, ґрунт з кореневою системою та цукрові буряки, використані для розрахунків у PLAXIS, представлені в табл. 2.2..

Таблиця 2.2.

Вхідні дані ґрунту та коренеплоду, використані для моделювання екстракції буряків¹

Зона коренеплоду	C_R (кПа)	σ_{cp} (кПа)	E (кПа)	V	γ_n (г/мм ³)	K_0
	1000	2000	10000	0.39	1.000	0.6
00	82	20	2200	0.45	1.874	0.8
11	85	23	2200	0.45	1.874	0.8
12	95	33	2200	0.45	1.874	0.8
13	112	50	2200	0.45	1.874	0.8
14	138	76	2200	0.45	1.874	0.8
15	178	116	2200	0.45	1.874	0.8
16	233	171	2200	0.45	1.874	0.8
20	89	27	2200	0.45	1.874	0.8

¹Для всіх зон: кут внутрішнього тертя $\varphi = 0^\circ$; кут природного відкосу $\psi = 0^\circ$; проникність води в ґрунт (T) = 1 м/день; моделювання проводили для дренажних умов. 2C_R – густина розташування; σ_{cp} - міцність на розтяг; E - модуль Юнга (жорсткість); ν = коефіцієнт Пуассона (постійна псевдопружності); γ_h - насипна щільність у вологому стані; K_o - відношення горизонтального до вертикального напруження.

2.2. Результати моделювання вертикальної екстракції коренеплоду

Вплив на кореневу систему вертикальної екстракції (гіпотетичного) коренеплодів призвело до утворення зони напруженого зрізу точки, а отже, поверхня з деформацією, дуже близька до поверхні буряка (рис. 2.3.а). Тому очікувана прилипаюча здатність ґрунту для буряків без корінців дуже низька. Характеристики тарності ґрунту, розташованого між тріщиною і поверхнею коренеплоду очікується, що поверхня буряка буде такою ж, як і перед екстракцією, тому що напруження в області зламу є незначною, позитивною (розтягуючою).

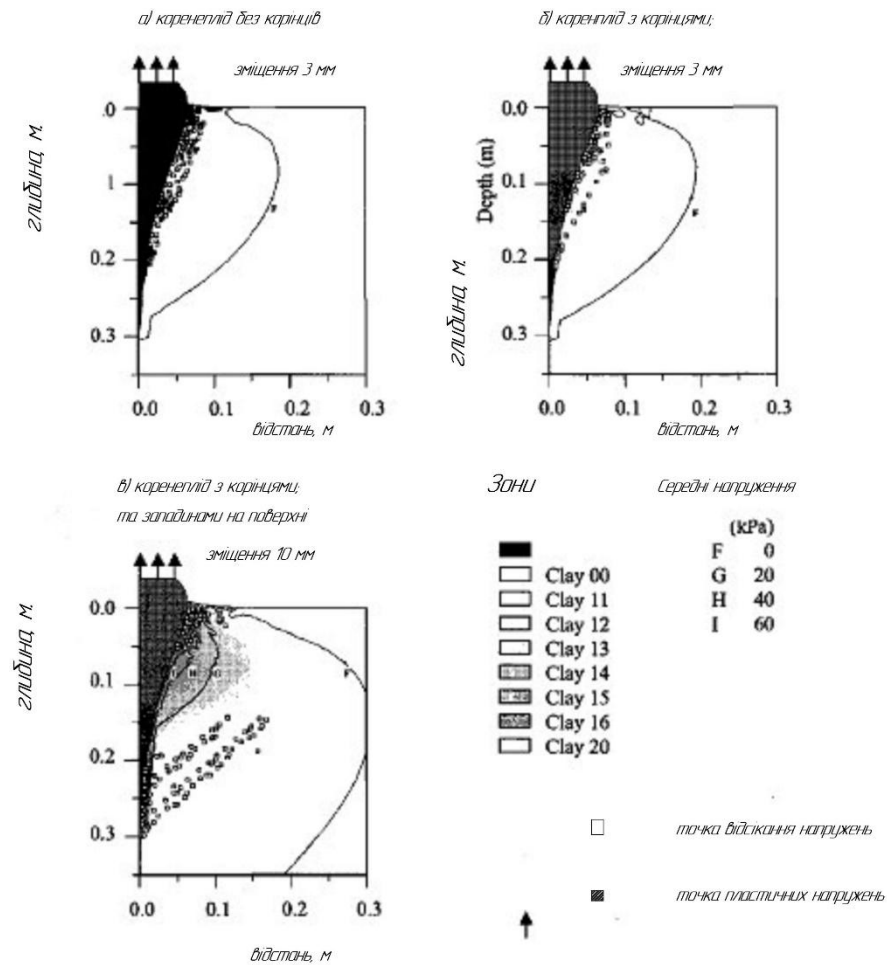


Рис. 2.3. Характер руйнування ґрунту та середні напруження, що виникають під час екстракції коренеплоду з корінцями та без

Видалення коренеплоду з невеликою кількістю корінців, що виходять з поверхні буряка, у площині, перпендикулярній борозенкам поверхні (рис 2.3.б), створює зону натягу, розташовану біля поверхні плоду. Тільки в нижній частині буряка, ця зона була на деякій відстані від поверхні. Тому, очікувана тарність ґрунту, що прилипає, низька, але дещо вища, ніж у коренеплодів без корінців.

Через позитивне середнє напруження між зоною руйнування та поверхнею буряка, змін у прилипанні ґрунту очікувати не слід. Під час екстракції коренеплоду на поверхні утворюються скупчення, (рис. 2.3.в) в зоні точок натягу близько до поверхні основи на верхньому і нижньому кінці буряка, але на відстані від поверхня буряка в середній частині.

Отже, слід очікувати, що тарність прилиплого ґрунту в цьому випадку буде високою порівняно з коренеплодом без корінців. Середня напруження між зоною зламу та поверхнею буряка позитивна. Тому очікується, що зчеплення з ґрунтом буде рівним і після екстракції.

Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що середній діаметр (d_k) корінців у шарі ґрунту глибина від 0 до 30 см становила 0,25 (мм), що збігається з площею поперечного перерізу (S_k) приблизно 0,05 (мм²). Глибина нижче 30 см, d_k становила в середньому 0,37мм.
2. Видалення коренеплоду з невеликою кількістю корінців, що виходять з поверхні буряка, у площині, перпендикулярній борозенкам поверхні, створює зону натягу, розташовану біля поверхні плоду. Тільки в нижній частині буряка, ця зона була на деякій відстані від поверхні. Тому, очікувана тарність ґрунту, що прилипає, низька, але дещо вища, ніж у коренеплодів без корінців.
3. Під час екстракції коренеплоду на поверхні утворюються скупчення в зоні точок натягу близько до поверхні основи на верхньому і нижньому кінці буряка, а не на поверхні коренеплоду в середній частині.
4. Отже, слід очікувати, що тарність прилиплого ґрунту в цьому випадку буде високою порівняно з коренеплодом без корінців. Середня напруження між зоною зламу та поверхнею буряка позитивна.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

3.1. Дослідження та аналіз факторів оптимізації роботи коренезбирального комбайна

Основними проблемами екстракції коренеплодів за посушливих умов є втрати врожаю. Основними причинами цього є дрібні плоди та сухий ґрунт, який дуже швидко сепарується робочими органами коренезбиральних машин (рис. 3.1.).



Рис. 3.1. Агрофон поля після збирання коренеплодів цукрових буряків

Перше, що потрібно зробити, це проаналізувати, де відбуваються втрати коренеплодів. Розрізняють 2 зони:

1. У зоні викопування. Необхідно перевірити, чи втрати буряків на полі з'являються після викопувального агрегату, чи у ділянці шнекововальцевого транспортера.
2. У зоні сепарації. Потрібно прослідкувати за зоною зірочки сепаратора під час екстракції. В більшості випадків вони викидають буряки убік, які потім потрапляють на поверхню поля рис 3.2.



Рис. 3.2. Втрати в зоні транспортування коренеплодів

3.2. Рекомендації щодо оптимізації якості викопування цукрових буряків за посушливих умов

Рекомендації по усуненню втрат.

- Встановіть висоту зрізу верхівки головки буряка таким чином, щоб коріння листрової частини залишались на всіх коренеплодах.
- Можна спробувати збільшити швидкість обертання верхнього вала приймача вороху. Збільшена сила подачі часто затягує сухе, листя буряка в верхню частину.
- Відрегулювати топери на мінімальний розріз головки коренеплоду
- На початку підйому перевірте правильність базової установки доочисників головок буряків. Коренеплоди, які мають низький вміст вологи, мають більший опір різання і тому виникають недорізи. Ножі з тупими або навіть закругленими краями в скальпері доочисника є основною причиною втрат врожаю через зламаний або вибитий буряк. Тому гострі ножі є основною вимогою для мінімізації втрат урожаю цукрових буряків.

У підйомних вузлах зі «стандартним лемешем» кінець леміша виготовлено більш вузьким, тому у разі потреби до заднього кінця підйомної

лапи можна приварити пальцеві прутки, це ще більше перекриє перехідну зону до першого підйомного ролика (рис. 3.3).

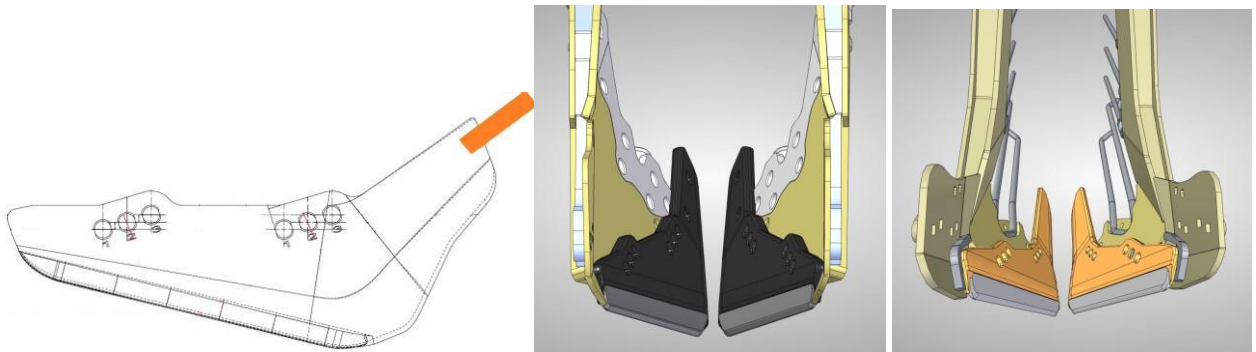


Рис. 3.3. Конструкція піднімача- викопувача лемішно-вібраційного типу

Для підйомних вузлів з «новим екстрактором» рекомендується використовувати версію «закритої лопаті» (рис. 3.4).

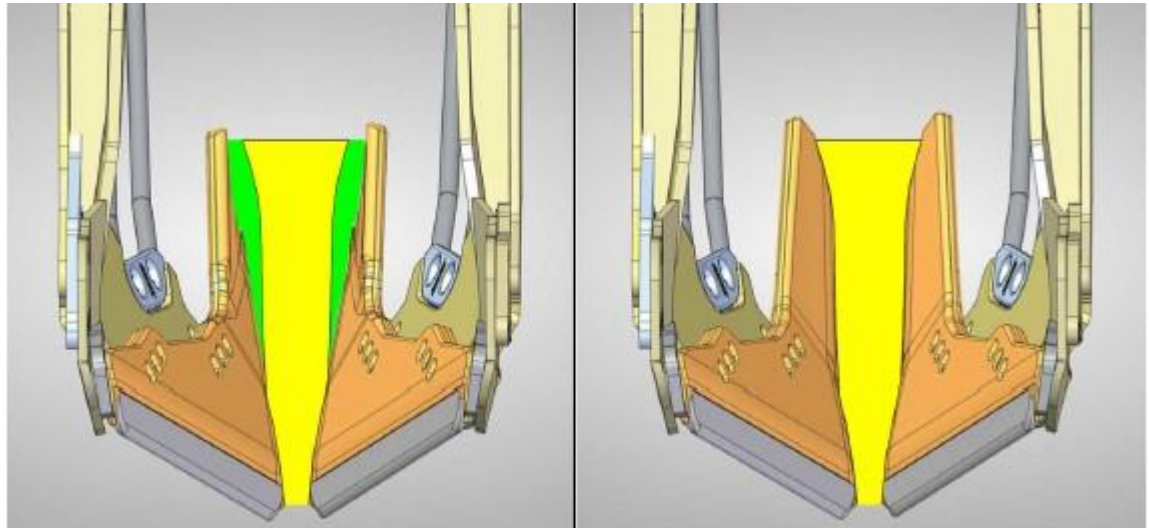


Рис. 3.4. Конструкція піднімача-викопувача з закритою лопаттю

На цих фотографіях (рис. 3.5.) можна побачити підйомний екстрактор відкритої версії

нормальний / середній розмір коренеплоду

дрібний розмір коренеплоду



Рис. 3.5. Підйомний екстрактор відкритої версії

На рис. 3.6. представлені підйомні шнекові вальці зі стандартним зовнішнім діаметром і дрібними буряками, одоводить необхідність регулювання робочих параметрів тобто зазорів в системі транспортування та сепараці.



Рис. 3.6. Підйомні шнекові вальці зі стандартним зовнішнім діаметром

Одним із способів регулювання є зміна жорсткості пружини направляючої регулювання по глибині викопування (рис. 3.7.)



Рис. 3.7. Пружина направляючої регулювання по глибині викопування

Збільшуючи попереднє навантаження пружин, регулятор глибини регулює підйом повільніше. Це дозволяє переміщувати викопувальний вузол дещо глибше.

Портібно виміряти розмір X при піднятому підйомному пристрої, вимірюйте лише фактичну довжину пружини без направляючих пластин зверху та знизу, заводські налаштування становлять 110 мм. Необхідно збільшити попереднє навантаження пружин, але пружини не можна попередньо натягувати до довжини менше 100 мм. Робоча довжина пружини повинна бути однаковою з обох сторін пристрою. Як тільки умови екстракції стануть нормальними або знову стануть більш вологими, регулювання пружин необхідно повернути до заводських налаштувань.

Необхідно контролювати, потрібний тиск в системі захисту від каменів. Це добре видно з кабіни оператора. Якщо відкидні рами, до яких прикріплені корпуси лемехів, смикаються вгору і вниз, це зазвичай свідчить про те, що тиск захисту від каменів занадто низький. Його потрібно збільшувати невеликими кроками, до поки не зникне ефект “посмикування”. Діапазон налаштування тиску захисту від каменів: в коренезбиральних комбайнах: 80 - 180 бар, причіпних: 30 - 50 бар (рис. 3.8).

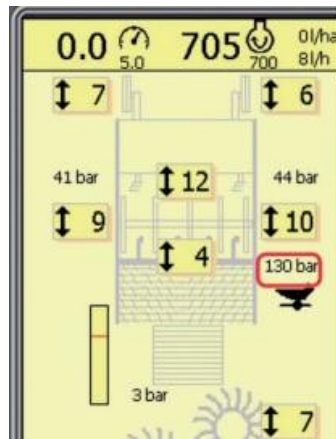


Рис. 3.8. цифровий термінал V8 Taiger

Рекомендації налаштування системи очищення. Налаштування очищення повинні бути якомога повільніші та м'які. Це мінімізує втрати через високі відцентрові сили та ризик травм і пошкодження коренеплодів. Пружинні зубчасті ротори в зоні системи зірчастих грохотів значно збільшують втрати буряків. Рекомендується встановити напрямні бокові сітки. Встановлювати напрямні сітки необхідно глибоко, щоб досягнути найменшого можливого зазору між ротором та ситом. Встановіть напрямні нижні решітки системи сепарації всередину. В результаті таких налаштувань коренеплоди більше транспортується у внутрішню зону ротора-сепаратора сита, де відстань між окремими зубцями ротора менша.

Висновки до розділу 3

1. В розділі розглянуто результати досліджень зменшення втрат коренеплодів, шляхом зміни технологічних параметрів та регулювань робочих органів коренезбиральних комбайнів. Дані рекомендації по зниженню травмування та зменшення експлуатаційних питомих затрат при збиранні коренеплодів цукрових буряків.
2. Запропоновано модернізований робочий орган для екстракції коренеплодів в сухому ґрунті для підйомних вузлів з «новим екстрактором» рекомендується використовувати версію «закритої лопаті» з метою зниження втрат та їх пошкодження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз систем машин показав, що високі результати при екстракції показують з комбіновані очисники з комбінацією рухів прямолінійним та обертотвим рухом. Відомо, що прилипання ґрунту після екстракції здається менш міцно прилягає до поверхні буряка, ніж після сучасної процес збирання врожаю.
2. Ефективність сепарації вороху “перемішування” буряків означає, що буряк сильно прискорюється на дуже короткий час. Тому високе початкове прискорення буряка, інтегрованого в екстрагування, може також зменшити тарність ґрунту після вилучення. З цієї причини, дослідження впливу прискорення буряків під час екстрагування було прийнято як другий напрямок дослідження для даної роботи. Розкриття причини низької тарності ґрунту та слабкого зчеплення з ґрунтом після вертикального викопування буряка можуть дати поштовх: для розробки вдосконалених пристроїв для екстракції коренеплодів, крім складних механізованих бурякокопачів.
3. Встановлено, що середній діаметр (d_k) корінців у шарі ґрунту глибина від 0 до 30 см становила 0,25 (мм), що збігається з площею поперечного перерізу (S_k) приблизно 0,05 (мм²). Глибина нижче 30 см, d_k становила в середньому 0,37мм. Видалення коренеплоду з невеликою кількістю корінців, що виходять з поверхні буряка, у площині, перпендикулярній борозенкам поверхні, створює зону натягу, розташовану біля поверхні плоду. Тільки в нижній частині буряка, ця зона була на деякій відстані від поверхні. Тому, очікувана тарність ґрунту, що прилипає, низька, але дещо вища, ніж у коренеплодів без корінців.
4. Під час екстракції коренеплоду на поверхні утворюються скупчення в зоні точок натягу близько до поверхні основи на верхньому і нижньому кінці буряка, а не на поверхні коренеплоду в середній частині.
5. Запропоновано модернізований робочий орган для екстракції коренеплодів в сухому ґрунті для підйомних вузлів з «новим екстрактором»

рекомендується використовувати версію «закритої лопаті» з метою зниження втрат та їх пошкодження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. – Львів: НВФ “Українські технології”, 2002. – 800 с.
2. Сидорчук О., Луб П., Татомир А., Бурилко А. Метод визначення втрат врожаю сільськогосподарських культур внаслідок несвоєчасності механізованих процесів рільництва // Матеріали V ювілейної Міжнар. наук.-техн. конф. “Механізація і енергетика сільського господарства “МОТРОЛ 2005”. – Одеса, 2005. – Том.7. – С. 87-91.
3. Сидорчук О. Системотехніка аграрного виробництва та інженерні аспекти його розвитку // Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження. – 2000. – № 4. – С. 5-12.
4. Сидорчук О., Тимочко В., Ціп Є. Імітаційна модель роботи зернозбирального комбайна впродовж сезону // Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження. – 2001. - №5. – С. 17-26.
5. Табашников А.Т. Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур. – М.: Агропромиздат, 1985. – 159 с.
6. Основи імітаційного та статистичного моделювання / Харін Ю.С., Малюгін В.І., Кирлиця В.П. та ін – Мінськ: Дизайн Про, 1997.-288с.
7. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Обчислювальні методи досліджень та проектування складних систем. - М.: Наука, 1982. - 286 с.
8. Блынский Ю.Н., Лодыгин Ю.Ф. Имитационное моделирование уборочно-транспортных процессов. - М.: Агропромиздат, 1988.-120 с.
9. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. - 351 с.
- 10.Гладь Ю., Солтисюк В. Теоретичне обґрунтування процесу сепарації коренеплодів роторними очисниками. Вісник Тернопільського

- державного технічного університету. Тернопіль ТДТУ. 2007. Том 12. №4. С.78-85.
- 11.Гладь Ю.Б., Солтисюк В.І. Дослідження динамічних навантажень при очищенні коренеплодів дисками пальцевого очисника. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Механізація сільськогосподарського виробництва. Механізми з гвинтовими пристроями ”.Харків.ХНТУСГ, Вип.59, Т.1. 2007. С.142-149.
 - 12.Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин. Конструювання і розрахунок. Тернопіль: Поліграфіст.1997.- 120с.
 - 13.Гевко Р.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: Дис. д-ра техн. наук: 05.05.11./ Київ. 2000.- 362с.
 - 14.Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. –К.: Урожай, 2001. – 384 с.
 - 15.Хайліс Г.А. Коновалюк Д.М. Розрахунок робочих органів збиральних машин: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1991. – 199 с.
 - 16.Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин. Львов. Світ. 1992. 380с.