



УДК 631.363.2

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-3-7

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ З
ВРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ НАЛИПАННЯ ҐРУНТУ НА ЇХНІЙ ПОВЕРХНІ****Заєць Максим Леонідович**, к.т.н., доцент
Поліський національний університет**Maksym Zayets**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Polissia National University

Дана стаття присвячена дослідженню процесу утворення налипання ґрунту на поверхні коренеплоду під час викопування, що дозволяє в процесі моделювання та проектування поверхонь активних робочих органів коренезбиральних машин. Аналізуючи наукові дослідження по даній темі, можна спостерігати незначне приділення уваги даній проблемі, тому робота по цій тематиці є досить актуальною.

Метою даної роботи поставлено змоделювати процес тарності ґрунту, що може призвести до пошкодження коренеплоду та зниження якості продукції.

У статті проведено динамічний аналіз цього процесу, враховуючи різні фактори, такі як вологість, липкість та інші фізико-механічні властивості ґрунту, швидкість викопування, форма і геометричні параметри коренеплоду. За модель було обрано метод Мора-Кулона, що дозволило вирішити окремі задачі процесу екстракції коренеплоду та виконати моделювання поведінки ґрунту для широкого діапазону систем навантаження на основі параметрів, ґрунтів сільськогосподарського призначення.

Визначення основних характеристик ґрунту при моделюванні екстракції буряків проводили, для помірно важкого суглинку у вологому стані, для якого більшість вхідних параметрів для програмного забезпечення PLAXIS були відомі. З цими зразками були проведені стандартні швидкі тривісні випробування при початковому напруженні в 3 кПа, до σ_z 200 кПа. обґрунтовано можливі способи уникнення надлишкового налипання ґрунту та підвищення ефективності збирання коренеплодів. Результати дослідження можуть бути корисними для сільськогосподарських підприємств та виробників цукрових буряків, щоб оптимізувати процес, що дозволить покращити якість продукції.

Узагальнюючи, моделювання процесу екстракції коренеплоду є важливим інструментом для оптимізації параметрів збиральної машини та зниження енергетичної складової процесу викопування. Це може покращити ефективність та якість виробництва коренеплодів, що є важливим для сільськогосподарських підприємств та виробників коренеплодів. Додаткові дослідження та розробки у цій галузі можуть сприяти постійному вдосконаленню процесу екстракції коренеплоду, що дасть можливість враховувати отримані дані при проектуванні робочих органів бурякозбиральних машин.

Ключові слова: моделювання, процес екстракції, тарність ґрунту, робочий орган, бурякозбиральна машина, лемішно-вібраційний пристрій.

Ф. 5. Рис. 3. Табл. 2. Літ. 9.

1. Постановка проблеми

Якість партії цукрових буряків визначається на бурякоприймальній станції цукрового заводу, де проводяться стандартні тести. Показники якості, такі як вміст цукру і індекс екстрагування, а також кількість небажаного матеріалу (броду та сміття) в партії коренеплодів, коригуються для розрахунку розміру плати фермерам. Небажаний матеріал може складатися з пухкого ґрунту, ґрунту, що прилягає до поверхні буряка, бадилля, залишків листя, бур'янів і каменів. Під час збирання коренеплодів у вантажівку завжди потрапляє і ґрунт, який транспортується на переробку, незважаючи на зусилля з очищення. Цей налиплий ґрунт називається тарним ґрунтом [1].

Перед обробкою буряків їх промивають великою кількістю води, щоб отримати дуже чистий буряк, оскільки процес виробництва цукру вимагає цього. Водний потік з частинками ґрунту зазвичай направляється до осадкових водойм поблизу заводу. Після відстоювання і висихання ґрунт видаляють і можуть використовувати в інших проектах. Через додаткове очищення під час транспортування



буряків з поля до заводу, тара ґрунту може зменшитись. Очищення коренеплодів під час завантаження на вантажівку, як правило, призводить до зменшення кількості тарного ґрунту [2]. Всі перелічені фактори негативно впливають на економічні показники виробництва цукросировини. Тому постає завдання, яким чином знизити тарність ґрунту на коренеплодах вже на етапі збирання, зокрема, екстракції коренеплодів.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розвиток техніки для збирання врожаю та підвищення її продуктивності має довгу історію. Одним з результатів цього розвитку є сучасна система збирання врожаю, яка включає в себе різні фази, такі як викопування та очищення. Якість збирання врожаю залежить від якостей кожної фази процесу. Розвиток механізованого збирання цукрових буряків був детально розглянутий в різних дослідженнях. Традиційно буряки викопували з корінням, але з часом стало стандартною практикою витягувати їх повністю з ґрунту за допомогою механічних пристроїв. Викорчовування буряків було оптимізовано за допомогою різних лап і поворотних чи вібраційних пристроїв.[3]

Механізовані процеси збирання коренеплодів детально описано Карвовським (1974), Строкером (1982), Дітгесом (1990).

Традиційно коренеплоди видаляли з корінням, витягуючи буряк із ґрунту за листя, за допомогою вузької лопати (бурякової лопати) або вилки, коли з'явилася можливість повністю екстрагувати буряки з ґрунту, прикладаючи лише механічні зусилля, стало стандартною практикою. З 1925 р. для оптимізації технологічного процесу було створено різні типи підкопувальних лап і пристроїв для викопування коренеплодів. Карвовський (1974) і Дітгес (1990) розглянули основні види копачів, які застосовувались при виробництві. У дослідженнях з очищення від домішок та ґрунту плодів (Брінкмен, 1980; Діджес, 1990), запропонували, частину вхідного матеріалу поділяти на фракції: пухкий ґрунт (включаючи каміння і вільні частинки листя) та прилиплий ґрунт, який потребує додаткових робочих органів для очищення. Обираючи тип застосованого очисного пристрою, прилиплий ґрунт інколи поділяють на «знімний» і «незнімний» прилиплий ґрунт (Brinkmann, 1985; Діджес, 1990). Фракція ґрунту, яка позначена як незнімна, включає ґрунт, що налипає у нерівностях коренеплоду, який не вдалося видалити очисним пристроєм навіть після тривалого очищення. Пристрої, які найчастіше застосовуються для очищення буряків, детально описано Karwowski (1974) і Ditges (1990).

3. Мета досліджень

Метою досліджень є оптимізація процесу екстракції коренеплодів цукрових буряків, що дасть змогу знизити тарність ґрунту при збиранні та підвищити ефективність виробництва цукросировини.

4. Виклад основного матеріалу

Відмінності у тарності ґрунту та адгезії між різними кореневими системами, видаленням коренеплодів та методами викопування пов'язані з відмінностями у реакції ґрунту, що оточує буряк, на зовнішні сили, що діють під час екстракції. Тому створена модель, що описує реакцію ґрунту на зовнішні навантаження, була використана для моделювання поведінки ґрунту навколо коренеплодів. Різниця полягає у відстані між розрахунковою площею початкового рунування ґрунту та поверхнею буряка та величиною налиплого шару ґрунту. Зчеплення з ґрунтом є емпіричним параметром і не може бути розраховано за допомогою математичних моделей. Оскільки на адгезію ґрунту впливає напружений стан ґрунту, але деякі ознаки зчеплення ґрунту після вилучення можна визначити на основі напруженого стану.

Моделювання системи «ґрунт-поверхня коренеплоду» та поведінки ґрунту внаслідок зовнішніх навантажень в основному описує зв'язок між напруженням ґрунту та деформацією. Деформація або переміщення ґрунту (наприклад, під час екстракції цукрових буряків) може змінюватися при короточасних і великих навантаженнях. Для моделювання поведінки ґрунту необхідно встановити тип залежності напруження-деформації [6]. У динаміці ґрунту, як правило, набір взаємозв'язків між напруженнями та деформаціями ґрунту описується в так званих конститутивних моделях, сформульованих за допомогою математичних рівнянь, які описують різні типи ідеальних реакцій матеріалу. Існує кілька моделей, що відрізняються за складністю і сферою застосування. Найбільш часто використовуваною є модель Мора-Кулона, яка передбачає, що ґрунт перебуває в пружному стані до руйнування на зсув і демонструє ідеальну пластичну поведінку після початкового стану.



Модель Мора-Кулона також була обрана для вирішення проблеми екстракції коренеплодів, оскільки відомо, що вона добре підходить для моделювання поведінки ґрунту в різних системах навантаження та базується на відомих типах ґрунтів [6]. Ця модель потребує двох параметрів еластичності (модуль пружності Юнга і коефіцієнт Пуассона) та трьох параметрів пластичності (зчеплення, кут внутрішнього тертя і кут дилатанції). Умова відмови Мора-Кулона розширює закон тертя Кулона на різні стресові стани і гарантує його дотримання у будь-якій площині континууму, двох параметрів пружності, модуля Юнга (E) і коефіцієнта Пуассона (ν), і трьох параметрів пластичності, адгезії (c), кута внутрішнього тертя (φ) і кута розширення (ψ). Умова відмови Мора-Кулона є розширенням закону тертя Кулона на загальні напружені стани. Насправді ця умова гарантує, що будь-яка площина в межах континууму підпорядковується закону тертя Кулона. Умову руйнування Мора-Кулона (1) зручно виразити через головні напруження (σ_1 , σ_2 і σ_3) і складається з трьох функцій [7]:

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

В процесі екстракції коренеплодів у масиві ґрунту виникають напруження розтягу, що не є стандартною проблемою, для яких розроблено кулонівську модель. Відомо, що модель Мора-Кулона не достатньо точно прогнозує міцність при розтягу занадто тарних ґрунтів, таких як важкі суглинки. Щоб подолати це обмеження, у програмному пакеті PLAXIS є так зване відключення натягу розширений варіант. Увімкнувши відключення, шостий параметр, допустима напруження на розтяг (σ_t) додається до моделі Мора-Кулона і три вводяться додаткові (розтягувальні) функції руйнування [7]:

$$\begin{aligned} f_1 &= |\sigma_2 - \sigma_t|, \\ f_2 &= |\sigma_3 - \sigma_t|, \\ f_3 &= |\sigma_1 - \sigma_t|. \end{aligned} \quad (2)$$

Дані функції текучості представимо, як просторову поверхню відмов у масиві основних напружень. У випадку, коли $\varphi = 0$ і $\sigma_t > 0$, дана поверхня відмови буде мати форму шестикутної циліндричної призми, так званої поверхні текучості Треска (рис. 1).

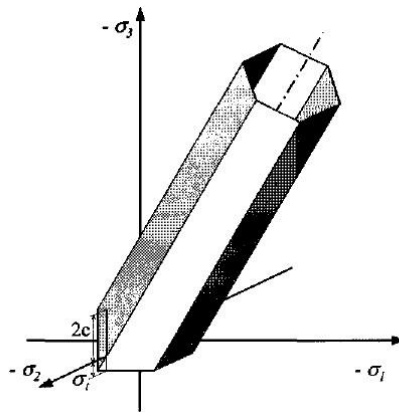


Рис. 1. Поверхня текучості Треска в тримірному просторі головних напружень (σ_1 , σ_2 і σ_3) з розтягом на, σ_t

Введення основних характеристик ґрунту при моделюванні екстракції буряків проводили за допомогою програми Wageningen, важкий суглинок у вологому стані, де більшість вхідних параметрів для PLAXIS були встановлені. Було відібрано зразки ґрунту у вересні 2023 р. на полі дозрілих коренеплодів. Проведені стандартні тривісні дослідження при початковому напруженні поверхні 3 кПа, σ_3 200 кПа, швидкість вертикальної деформації 0,02 с⁻¹, з максимально вертикальним штампом 0,45. Кут внутрішнього тертя ґрунту, $\varphi=0$. Зчеплення, c , було отримано при встановленні міцності на



зсув. Умова міцності ґрунту на розрив становила $\sigma_t = 0,25$ с (кПа). Оскільки всі вхідні параметри отримані з нефактичних випробувань на вологих польових зразках, значення відносяться до загального, а не ефективного напруження.

Також в PLAXIS, загальне напруження аналізували шляхом вибору дренованого ґрунту для теоретичних розрахунків, додатковий гідростатичний тиск в моделі PLAXIS було компенсовано.

Прийнявши характеристики кореневої системи коренеплоду, за Кучерою (1960), коренева система розташована на глибині до 50 см і до 60 см ліворуч і праворуч вертикальної осі (рис. 2, зверху).

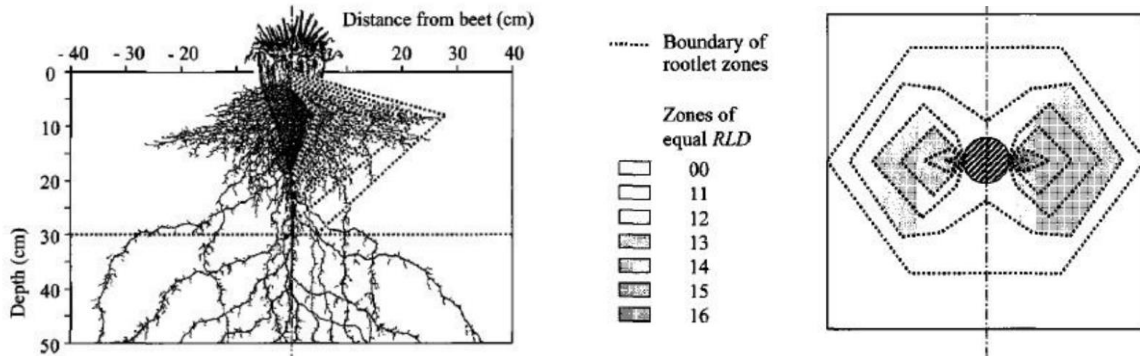


Рис. 2. Коренева система коренеплоду, за Кучерою (1960), проєктовані зони однакової щільності довжини коренів (зверху)

Взаємодією корених систем сусідніх коренеплодів було знехтувано.

Загальний об'єм масиву ґрунту розділили на вісім зон, що передбачено рівномірністю щільності довжини корінців (тобто загальна довжина корінців на одиницю об'єму ґрунту ($\text{см}/\text{см}^3$) тому що, механічні характеристики відрізнялися між зонами (рис. 2). Буряковикопувальні системи для екстракції коренеплоду розглядалися у двох вертикальних перерізах: у площинах через бурякові борозенки, і перпендикулярно до них [8, 9]. Оскільки немає опису форми кореневої системи в горизонтальній площині, то було зроблено припущення, схематична форма (рис. 2, з права). Зростання адгезії, $\Delta\sigma$ (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. 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, $\Delta\sigma = \Delta\sigma_t$.

За дослідженнями Вінда та [9] відомо, що щільність по довжині кореня (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 6 і зменшується зі збільшенням відстані від рядка до значення 0 для площі без коренів. Щільність отримана на глибині нижче 35 см, становила приблизно 0,35. Ми припускаємо, що кількість корінців сприяє зчепленню і розтягуванню ґрунту ЩДК 3 на см^2 , що обумовлено трьома основними напрямками корінця зростання в 3-вимірному просторі. Отримано середнє значення діаметру (d_k) коренів в горизонті від 0 до 35 см була рівною 0,28 (мм), що відповідає площі поперечного перерізу (S_k) рівною 0,06 (мм^2), а при глибині більше 35 см, d_k становив в середньому 0,2 мм.

Тоді діаметр корінців у шарі ґрунту глибиною від 0 до 35 см становить близько 0,40 мм і звужується до діаметра 0,15 мм на кінці коренеплоду.

За дослідженнями Гевко Б. М., Гевко Р. Б.[5, 6], які вивели логарифмічну залежність міцності на розтяг корінців цукрових буряків, в залежності від площі їх поперечного перерізу:

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

де, σ_{tk} – міцність корінця на розрив (кПа); S_k – площа поперечного перерізу корінця (мм^2).

Встановлено, що нитки кореневої системи діаметром близько 1 мм, для яких міцність на розрив становить 6080 кПа, згідно з рівнянням (3)[6].



Якщо застосувати рівняння (3) для розрахунку і на розтяг кореневої системи розміром менше 1 мм, то отримуємо досить високі значення. Встановлено, що корені з діаметром, рівним або меншим за 1 мм, мають постійну міцність на розтяг, по скоригованим даним становить $\sigma_{tk} = 3500$ кПа.

Збільшення адгезії, Δc , і міцності на розтяг σ ґрунту (табл. 1.) були розраховані для кожної ґрунтової зони, зазначеної на (рис. 2.), з виразу:

$$\Delta c = \sigma_i = 10 \cdot \left(\frac{\sigma_{tk}}{3} \right) \cdot F_k, \text{ кПа} \quad (4)$$

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

$$F_k = \sigma_{tk} \cdot S_k \cdot 10^{-3}, \text{ Н} \quad (5)$$

Механічні характеристики коренеплоду цукрових буряків були застосовано в PLAXIS аналогічно, як при дослідженні ґрунту.

Таблиця 1

Показники дослідження кореневої системи цукрових буряків при визначенні додаткової адгезії та фактичної міцності ґрунту на розтяг

Зона	ЩДК (1/см ³)	d _к , мм	S _к , мм ²	σ_{tk} , кПа	F _к , Н	$\Delta c = \Delta \sigma_i$, 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; σ_{tk} - міцність на розтяг; F_к - зусилля руйнування кореневої системи при розтязі; Δc - додаткова адгезія; $\Delta \sigma_i$ - додаткова міцність на розтяг завдяки кореневій системі. 20¹ > 35 см нижче поверхні ґрунту.

В процесі отримання значень у програмі PLAXIS, були застосовані однакові характеристики по всій довжині коренеплоду. Отримані значення міцності на розтяг коренеплоду варіюються від 600 до 2800 кПа. Міцність на розрив 2000 кПа, є типовим значенням для нижньої частини плоду, що і було прийнято до розрахунку.

Числові значення модуля Юнга змінюються від 6500 до 14500 кПа. Для розрахунків було прийнято середнє значення 10500 кПа. Коефіцієнт Пуассона для матеріалу цукрових коренеплодів становить 0,39. Вхідні параметри ґрунту без кореневої системи, ґрунт з кореневою системою та коренеплодів, застосовувались при розрахунках у середовищі PLAXIS, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Вхідні дані ґрунту та коренеплоду, що застосовані при моделюванні процесу екстракції коренеплодів¹

Зона коренеплоду	C _R (кПа)	σ_{tp} (кПа)	E (кПа)	V	γ_h (г/мм ³)	K _o
	1000	2000	10500	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 ґрунті (T) = 1 м/день; моделювання проводили за умов дренаваного ґрунту. ²C_R - густина розміщення; σ_{tp} - міцність на розтяг; E - модуль Юнга (жорсткість); v = коефіцієнт Пуассона (постійна псевдопружності); γ_h - щільність у вологому стані; K_o - відношення горизонтальних до вертикальних напружень.



Вплив на кореневу систему вертикальної екстракції (гіпотетичного) коренеплодів призводить до утворення зони напруженого зрізу точки, що дуже близько до тіла коренеплоду, за рахунок поверхневої деформації (рис. 3.а). Тому, очікувано, тарність ґрунту для коренеплодів без корінців дуже низька. Характеристики тарного ґрунту, що знаходиться між тріщиною і поверхнею тіла коренеплоду буде однаковою, як і перед екстракцією, тому що напруження в зоні згину є незначними, додатними, тобто (розтягуючими).

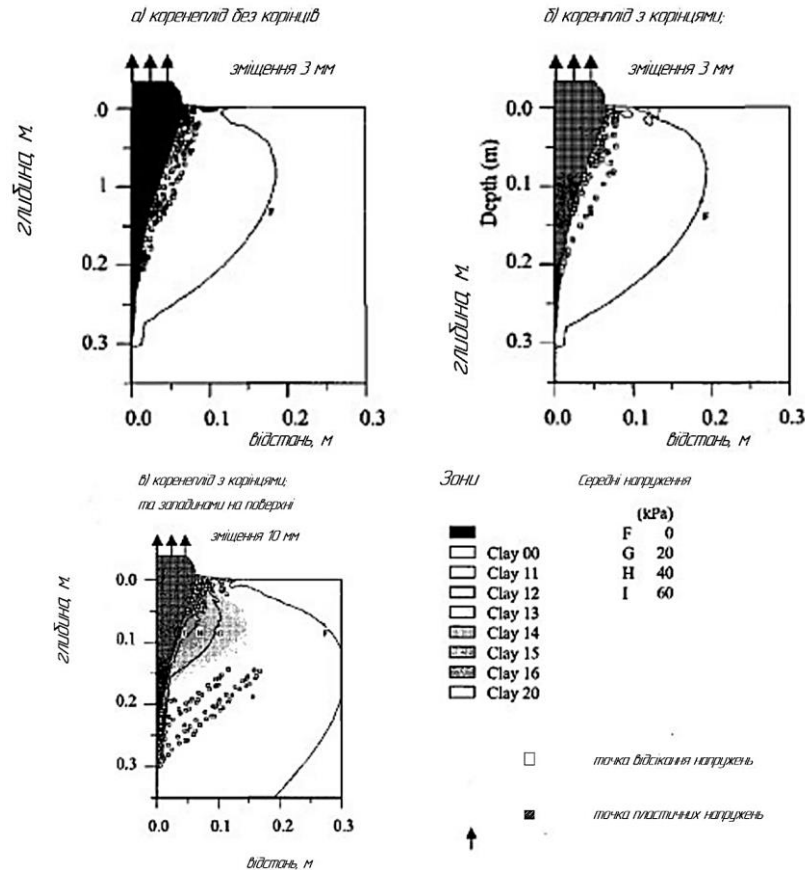


Рис. 3. Динаміка руйнування ґрунту та середні зони напруження, що виникають під час викопування коренеплоду з корінцями та без

Екстракція коренеплодів цукрових буряків з невеликою кількістю корінців, у перпендикулярній площині, (рис 3.б), створює зону натягу, розташовану біля поверхні тіла. Тільки в нижній частині коріння буряка, деформаційна зона була на достатній віддалі від поверхні. За рахунок чого, очікувана тарність ґрунту низька, але вища, ніж у коренеплодів без коріння.

Оскільки, середнє значення напруження між зоною руйнування та поверхнею тіла буряка додатне, то зростання тарності ґрунту очікувати не варто. Під час екстракції коренеплоду на його поверхні відбувається накопичення, (рис. 3.в) точок розтягу на поверхні основи та нижньому кінці конуса тіла. Тоді, слід очікувати, що тарність ґрунту в даному випадку буде зростати, в порівнянні з коренеплодом без кореневої системи. Середнє значення напруження між зоною згину та поверхнею тіла коренеплоду додатна, тому очікується, що налипання ґрунту буде рівним і після екстракції.

5. Висновки

В процесі досліджень встановлено середній діаметр (d_k) коренів у шарах ґрунту від 0 до 35 см визначено 0,25 (мм), що відповідає площі поперечного перерізу (S_k) приблизно 0,05 (мм²). Для глибин менше 30 см середній d_k становить 0,37 мм. Частина ґрунту, що виступає над поверхнею коренеплоду в площині, перпендикулярній до поверхневої борозенки, створює зону натягу біля поверхні коренеплоду. Таким чином, очікувана тарність ґрунту, що прилягає, нижча, але трохи вища, ніж для коренеплодів без коренів. В процесі екстракції коренеплоду відбувається накопичення точок натягу, що утворюються на поверхні ділянки базової поверхні на верхньому та нижньому кінцях



цукрового буряку, тому твердість тарного ґрунту в цьому випадку має бути вищою порівняно з коренеплодами з кореневою системою.

Отримані дані дозволяють проводити проектування та моделювання поверхонь викопувальних робочих органів бурякозбиральних машин, з врахуванням особливостей тарності ґрунту. Визначення геометричних параметрів копачів здійснювати з урахуванням типу кореневої системи коренеплоду, конструктивних особливостей та розрахункових даних. Це доводить правильність багатofакторного підходу при проектуванні копачів-екстракторів для конкретних умов застосування.

Список використаних джерел

1. 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"*. Том. 7. С. 87–91.
2. Сидорчук О. Системотехніка аграрного виробництва та інженерні аспекти його розвитку. *Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження*. 2000. № 4. С. 5–12.
3. Гладь Ю., Солтисюк В. Теоретичне обґрунтування процесу сепарації коренеплодів роторними очисниками. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2007. № 4, Т. 12. С. 78–85.
4. 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"*. 2007. Вип. 59, Т. 1. С. 142–149.
5. Гевко Р. Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин. Конструювання і розрахунок. Тернопіль : Поліграфіст. 1997. 120 с.
6. Гевко Р. Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин : дис. д-ра техн. наук : 05.05.11 «Сільськогосподарські машини» / Національний аграрний університет. Київ, 1999. 316 с.
7. Сисолін П. В., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські машини : теоретичні основи, конструкція, проектування. К. : Урожай, 2001. 384 с.
8. Хайліс Г. А. Коновалюк Д. М. Розрахунок робочих органів збиральних машин : навч. посібник. К. : НМК ВО, 1991. 199 с.
9. Гевко Р. Б., Рогатинський Р. М. Гвинтові подаючі механізми сільськогосподарських. Львів. Світ. 1992. 380 с.

References

- [1] Sydorhuk, O., Lub, P., Tatomyr, A., Burylko, A. (2005). Metod vyznachennia vtrat vrozhaui silskohospodarskykh kultur vnaslidok nesvoiechasnosti mekhanizovanykh protsesiv rilnytstva. *Materialy V yuvileinoi Mizhmar. nauk.-tekhn. konf. "Mekhanizatsiia i enerhetyka silskoho hospodarstva "MOTROL 2005"*, 7, 87–91. [in Ukrainian].
- [2] Sydorhuk, O. (2000). Systemotekhnika ahrarnoho vyrobnytstva ta inzhenerni aspekty yoho rozvytku. *Visn. Lviv. derzh. ahrar. un-tu: Ahroinzhenerni doslidzhennia*, 4, 5–12. [in Ukrainian].
- [3] Hlado, Yu., Soltysiuk, V. (2007). Teoretychne obgruntuvannia protsesu separatsii koreneplodiv roturnymu ochysnykamy. *Visnyk Ternopilskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*, 4 (12), 78–85. [in Ukrainian].
- [4] Hlado, Yu.B., Soltysiuk, V.I. (2007). Doslidzhennia dynamichnykh navantazhen pry ochyshchenni koreneplodiv dyskamy paltsevoho ochysnyka. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. "Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva"*, 59 (1), 142–149. [in Ukrainian].
- [5] Hevko, R.B. (2000). *Vykopivalno-ochysni prystroi buriakozbyralnykh mashyn. Konstruiuvannia i rozrakhunok [Excavating and cleaning devices of beet harvesting machines. Design and calculation]*. Ternopil: Polihrafist. [in Ukrainian].
- [6] Hevko, R.B. (2000). Obgruntuvannia konstruktyvno-tekhnolohichnykh parametriv robochykh orhaniv buriakozbyralnykh mashyn [Justification of the structural and technological parameters of the working bodies of beet harvesting machines] : dys. d-ra tekhn. nauk : 05.05.11 «Silskohospodarski mashyny» / Natsionalnyi ahrarnyi universytet. Kyiv, 1999. 316 s. [in Ukrainian].



- [7] Sysolin, P.V., Salo, V.M., Kropivnyi, V.M. (2001). *Silskohospodarski mashyny: teoretychni osnovy, konstruktsiia, proektuvannia* [Agricultural machines: theoretical foundations, construction, design]. K. : Urozhai, [in Ukrainian].
- [8] Khailis, H.A., Konovaliuk, D.M. (1991). *Rozrakhunok robochykh orhaniv zbyralnykh mashyn : navch. posibnyk* [Calculation of the working bodies of harvesting machines: training. manual]. K. : NMK VO. [in Ukrainian].
- [9] Hevko, B.M., Rohatynskyi, R.M. (1992). *Hvyntovi podaiuchi mekhanizmy silskohospodarskykh* [Agricultural screw feeding mechanisms]. Lviv. Svit. [in Ukrainian].

MODELING OF WORKING BODIES FOR THE EXTRACTION OF SUGAR BEET ROOTS TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF SOIL STICKING ON THEIR SURFACE

This article is devoted to the study of the process of the formation of soil adhesion on the surface of the root crop during digging, which allows in the process of modeling and designing the surfaces of the active working organs of root harvesting machines. Analyzing scientific research on this topic, it is possible to observe little attention paid to this problem, therefore the work on this topic is quite relevant. The purpose of this work is to simulate the process of soil taring, which can lead to root crop damage and a decrease in product quality.

The article provides a dynamic analysis of this process, taking into account various factors, such as moisture, stickiness and other physical and mechanical properties of the soil, digging speed, shape and geometric parameters of the root crop.

The Mohr-Coulomb method was chosen as the model, which made it possible to solve certain problems of the root crop extraction process and perform simulation of soil behavior for a wide range of load systems based on parameters, agricultural soils.

Determination of the main characteristics of the soil in the simulation of beet extraction was carried out for a moderately heavy loam in a wet state, for which most of the input parameters for the PLAXIS software were known. These samples were subjected to standard rapid triaxial tests at an initial stress of 3 kPa, up to σ_3 200 kPa. possible methods of avoiding excessive soil sticking and increasing the efficiency of harvesting root crops are substantiated. The results of the research can be useful for agricultural enterprises and sugar beet producers to optimize the process, which will allow to improve the quality of the products.

Summing up, modeling the root crop extraction process is an important tool for optimizing the parameters of the harvesting machine and reducing the energy component of the digging process. This can improve the efficiency and quality of root crop production, which is important for agricultural enterprises and root crop producers. Additional research and development in this field can contribute to the continuous improvement of the root crop extraction process, which will make it possible to take into account the obtained data when designing the working bodies of beet harvesting machines.

Key words: modeling, extraction process, soil hardness, working body, beet harvester, plow-vibration device.

F. 5. Fig. 3. Table. 2. Ref. 9.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Заєць Максим Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Поліського національного університету (вул. Бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна, e-mail: mzaec81@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2290-1892>).

Maksym Zayets – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Services of the Polis National University (Bulvar Stariy St., 7, Zhytomyr, 10008, Ukraine, e-mail: mzaec81@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2290-1892>).