

**В.М. БАРАНОВСЬКИЙ, Н.А. ДУБЧАК, В.В. ТЕСЛЮК,
М.Р. ПАНЬКІВ, В.Б. ОНИЩЕНКО**

**ОСНОВИ РОЗРОБКИ
КОМБІНОВАНИХ ОЧИСНИХ СИСТЕМ
КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН**

**ТЕРНОПІЛЬ
2015**

УДК 631.17+631.358.4
ББК 40.728
Б24

*Рекомендовано до друку вченою радою відокремленого підрозділу
 Національного університету біоресурсів і природокористування України
 «Бережанський агротехнічний інститут»
 протокол № 11 від 31 жовтня 2014 р.*

Рецензенти:

*В.Г. Мироненко, докт. тех. наук, проф.,
 Г.А. Голуб, докт. тех. наук, проф.*

Іл. 5. Табл. 12. Бібліогр. 164 назв

Б24 Барановський В.М. Основи розробки комбінованих очисних систем коренезбиральних машин : монографія / В.М. Барановський, Н.А. Дубчак, В.В. Теслюк, М.Р. Паньків, В.Б. Онищенко. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 176 с.

ISBN 978-966-305-064-5

Монографія присвячена механіко-технологічним основам розробки комбінованих очисників вороху коренезбиральних машин з метою підвищення технологічної ефективності процесу збирання коренеплодів.

Монографія призначена для науковців і фахівців сільськогосподарської галузі, викладачів, аспірантів і студентів технічних вищих навчальних закладів агропромислового напрямку.

УДК 631.17 + 631.+358.4
ББК 40.728

© В.М.Барановський, Н.А.Дубчак, В.В. Теслюк,
 М.Р.Паньків, В.Б.Онищенко, 2015

© Тернопільський національний технічний
 університет імені Івана Пулюя, 2015

ISBN 978-966-305-064-5

ВСТУП

Сталий розвиток агропромислового комплексу України не можливий без розробки нових прогресивних підходів до створення ефективних технічних засобів збирання сільськогосподарських культур.

Основним фактором занепаду показників галузі тваринництва в Україні є значне зниження виробництва та зменшення обсягів вживання кормових буряків, які є цінною кормовою культурою [1, 2].

Збільшення виробництва кормових буряків стримується низьким рівнем механізації основних технологічних процесів, а особливо процесу збирання [3]. Технологічний процес збирання коренеплодів кормових буряків є однією з трудомістких операцій. Із-за відсутності надійних і високоефективних засобів очищення вороху коренеплодів від домішок витрати ручної праці на виробництво цієї культури складають 500...600 люд.-год./га, у тому числі 30...50% їх припадає на збирання [4].

Подолання кризової ситуації сільського господарства України неможливе без подальшої розробки принципово нових підходів до створення й використання високоефективних прогресивних технологій збирання сільськогосподарської продукції.

Тому однією із основних задач сучасного сільськогосподарського машинобудування є розробка нової прогресивної техніки, ресурсозберігаючих технологій та ефективних способів виконання сільськогосподарських процесів.

Актуальною проблемою сьогодення є збирання коренеплодів кормових буряків в оптимальні агротехнічні строки при мінімальних втратах і найменших затратах праці. Вирішення даної проблеми полягає в створенні сучасних бурякозбиральних машин, основними робочими органами яких повинні бути досконалі конструкції викопувальних та очисних робочих органів. Від якості їх роботи залежать показники втрат і пошкодження коренеплодів, а також процес очищення вороху коренеплодів від домішок.

Існуючі принципово-функціональні схеми транспортно-технологічних

систем (ТТС) коренезбиральних машин (КМ) не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо показників якості очищення коренеплодів від рослинних і ґрунтових домішок у зв'язку з існуючими недоліками [5, 6].

Одним із резервів підвищення показників якості роботи КМ є поліпшення технологічного процесу очищення вороху коренеплодів шляхом інтенсифікації процесу відокремлення ґрунту та рослинних домішок від коренеплодів з застосуванням комбінованої очисної системи (КОС).

У зв'язку з цим розроблення нових технологічних процесів і робочих органів для очищення вороху коренеплодів від домішок і дослідження впливу конструктивно-кінематичних параметрів очисників з метою підвищення показників якості роботи КМ є актуальним народногосподарським завданням.

Автори з вдячністю приймуть усі зауваження та пропозиції щодо покращення запропонованих досліджень.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ
КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН І ОЧИСНИКІВ ВОРОХУ
КОРЕНЕПЛОДІВ

1.1. Аналіз розвитку конструктивно-компонувальних схем ТТС КМ

Загальні принципи еволюції технічних засобів, призначених для збирання коренеплодів, тісно пов'язані з основними загальними аспектами розвитку технологій і способів їх збирання, а також еволюцією окремих технологічних операцій та конструктивно-компонувальною різноманітністю робочих органів, особливо таких, як викопування коренеплодів, сепарація викопаного вороху та завантаження викопаних коренеплодів у відповідні ТТС КМ.

Головним критерієм подальшої інтенсифікації сучасного розвитку сільськогосподарського виробництва є матеріально-технічна база механізації всіх виробничих процесів на основі забезпечення та впровадження високо-ефективних ресурсозберігаючих технологій збирання сільськогосподарських культур. У основу розробки конструктивно-компонувальних схем КМ завжди були закладені головні загальні принципи та тенденції домінуючої технології та способу збирання коренеплодів відповідного історичного етапу [6-8, 9, 10].

Сучасний стан спеціальних засобів механізації збирання коренеплодів у світі, у тому числі і в Україні, деякою мірою задовільний для реалізації технологічного процесу збирання у задані агротехнічні строки. Технічний прогрес початку третього тисячоліття зумовив подальший розвиток сільськогосподарського машинобудування – у виробництво впроваджуються нові високоефективні коренезбиральні комплекси, побудовані на основі оригінальних технологічно-компонувальних схем та конструктивних рішень робочих органів.

Основою для подальшого формування наукового світогляду розробників сільськогосподарської техніки, тобто подальшого розвитку загальної концепції раціональних обрисів коренезбиральних машин, є аналіз світового досвіду

поетапного удосконалення технологічного процесу збирання коренеплодів, компоновання та функціонування основних робочих органів ТТС КМ.

Перші механізовані способи збирання коренеплодів, які поєднували в собі викопування, завантаження і транспортування технологічної маси цукрових, розпочалися в другій половині XIX століття [6]. За відносно короткий термін, приблизно 150 років, розвиток і становлення техніки та механізованої технології збирання коренеплодів пройшли шлях від важкої ручної праці до кінних, тракторних машин і самохідних комбайнів. Питання необхідності механізації основних операцій збирання врожаю дало поштовх до винаходів і виготовлення на машинобудівних підприємствах найпростіших, із сучасного погляду, кінних знарядь, які суттєво полегшили ручну працю на виробництві.

На перших етапах механізації викопування коренеплодів застосовували примітивні кінні знаряддя – сохи, різного профілю лемеші та плуги, які тільки підрихлювали ґрунт навколо коренеплоду для його подальшого ручного витягування за гичку (додаток А 1.1). Однорядний німецький плуг-бурякопідіймач Р. Сакка (1853 р.) був першим більш-менш досконалим і працездатним механічним знаряддям, яке мало передні опорні колеса. Подальше удосконалення кінних засобів механізації викопування коренеплодів було спрямоване на створення знарядь, які збільшували рядність машин з одночасною доробкою конструктивних схем – підкопувальна частина дворядного коренепідіймача В. Зідерслебена (1861 р.) була шарнірно прикріплена до осі передніх коліс і мала керування по рядках спочатку за допомогою важеля, а потім рульового механізму; у двозубовому ручному копачі Поля О. Лекга (1878 р.) колісна вісь підкопувальної частини була прикріплена до рами копача за допомогою направляючої вертикальної осі, при цьому коренеплоди “вижималися” з ґрунту. Поряд з лемішними і вилковими копачами застосовувалися дводискові викопувальні робочі органи (бурякокопач Ф. Френч-Вотье, К. Томана, 1900 р.) [6].

Загальними основними недоліками перших ранніх кінних знарядь були дуже велика глибина викопування коренеплодів лемішем-копачем і, як наслідок, необхідність значного тягового зусилля, а також незадовільні показники

повноти викопування коренеплодів та очищення викопаного вороху від домішок навіть у оптимальних умовах збирання. [6, 9, 11].

Подальший розвиток конструктивно-компонувальних схем КМ (додаток А 2.1) характеризується створенням різних працездатних конструкцій однотипних гичкозрізувальних і викопувальних машин, а також розробкою перших зразків однорядних комбайнів. Фірма “Червінка” (Чехія) розробила прототип майбутнього комбайна, у якому гичкозрізувальний апарат і копач за допомогою копирів направлялися по рядках коренеплодів. Дворядна машина “Марсо” (Данія) вкладала коренеплоди у валок. Трирядні машини фірми “Дегремон” (Франція) були першими прототипами двофазних машин: спочатку зрізували гичку і виконували дообрізку її залишків на головках коренеплодів, а у другій фазі вилковими копачами викопували корені.

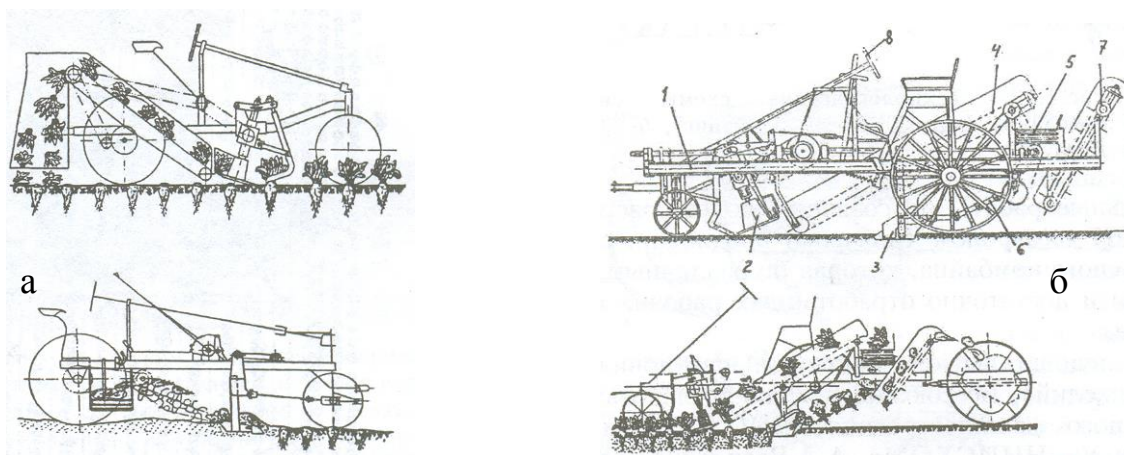


Рис. 1.1. Конструктивно-технологічні схеми КМ: а – дворядного комбайна (схеми комплексів для роздільного збирання); б – комбайна КС-4

Розробка причіпних тракторних коренезбиральних комбайнів в Україні почалася в 1926 р. – перші зразки машин системи проф. А.А. Василенка КС-1, КС-2 [12, 13] були сконструйовані в Українському філіалі ВІСГОМ. Перший зразок дворядного українського комбайна (1930 р.), конструктивна схема якого наведена на рис. 1.1 а, був аналогом комбайна “Зідерслебен” з дисковими гичкозрізувальними і лемішковими ВРО. Комбайн, продуктивністю 0,25 га/год., начіплювався на систему трактора У-2.

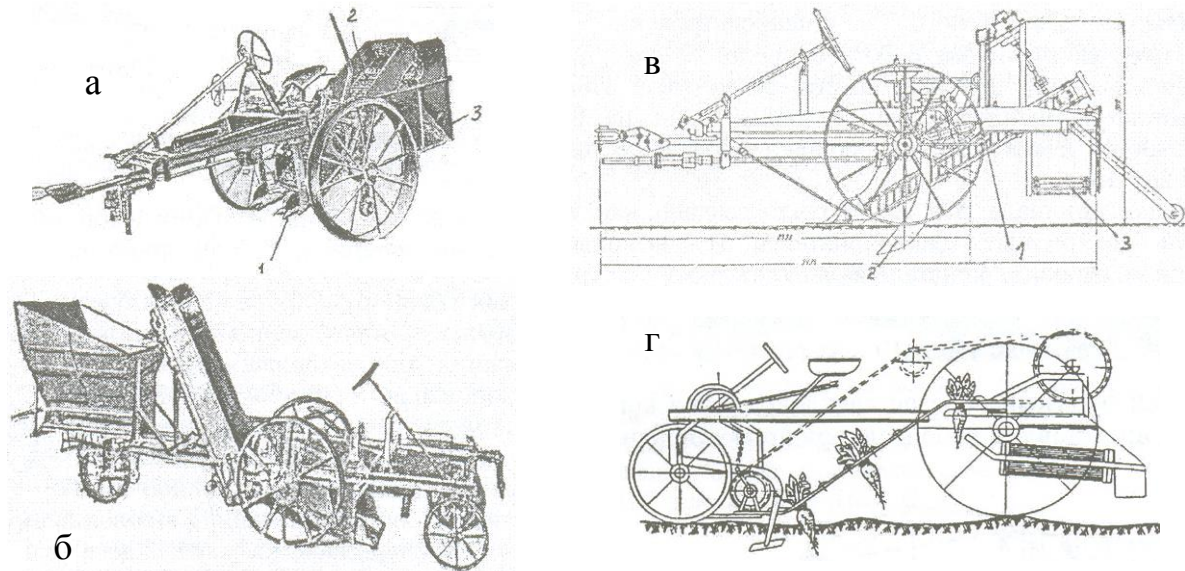


Рис. 1.2. Дворядні коренекопачі: а – копач-валкоутворювач; б – бункерний варіант; в, г – відповідно, брального типу конструкції ВІСГОМ і Корінькова

Великі втрати коренеплодів і значні їх пошкодження, відповідно до 7 % і 4 %, та наявність значної кількості домішок у викопаному воросі [14] обумовило пошук та розробку більш досконалих технологічних і технічних рішень.

Під керівництвом академіка А.А. Василенка було розроблено сімейство удосконалених зразків дворядних комбайнів КС-4 (рис. 1.1 б) – від копача-валкоутворювача, який передбачав викопування коренеплодів замкнутими копачами та укладання коренеплодів у валок з подальшим підбиранням його у періодично вивантажувальний бункер або безпосереднього завантаження вороху у бункер. Коренекопачі брального типу конструкцій інженерів Павлова та Корінькова [6] передбачали підкопування коренеплодів підймальними лапами з наступним витягуванням їх за гичку (рис. 1.2), транспортуванням вороху у бункер і укладанням його в купи для подальшого ручного обрізування гички. За своїм конструктивно-технологічним рівнем ці машини значно випереджували технічні рішення, які домінували у світі. Перший комбайн брального типу був виготовлений тільки у 1944 р. (США) [15].

Дана конструкція брального апарату була використана для створення у кінці 1950-х рр. першого у світі трирядного комбайна брального типу СКЕМ-3 (рис. 1.3 а), який вперше вирівнював викопані коренеплоди перед обрізуванням

гички за допомогою спеціального пристрою на заданій висоті відносно їх головки. Комбайн агрегатувався з гусеничним трактором КДП-38 і направлявся по рядках коренеплодів керувальником.

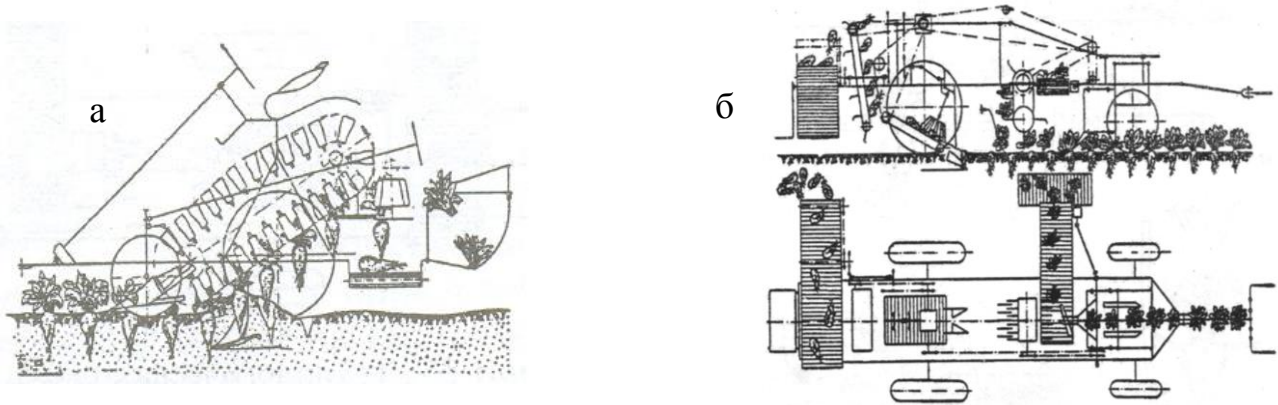


Рис. 1.3. Технологічно-конструктивні схеми комбайнів:

а – СКЕМ-3; б – АН-ВНИС

Дослідний зразок комбайна конструкції АН-ВНИС (рис. 1.3 б) передбачав викопування коренеплодів за допомогою лемішкових копачів і накопичення вороху у бункер, який мав рухоме дно з подальшим періодичним вивантаженням коренеплодів на поле у поперечні валки.

Розробку модернізованого варіанта комбайна СКЕМ-3Г, у конструктивну схему якого вперше було введено гідрофікований автомат керування викопувальних робочих органів по рядках і шнековий очисник вороху коренеплодів ОПС-К (бурякокомбайн СПТ-3, додаток А 2.1), було розпочато у 1959 р., що дозволило вивільнити з комбайна керованого та значно підвищити основні показники якості роботи збирального агрегата.

Постановка цих машин на серійне виробництво у 1950-1960 рр. на Дніпропетровському комбайновому заводі (ДКЗ) була суттєвим проривом в світовому комбайнобудуванні та розвитку технологій збирання коренеплодів – у європейських країнах у цей час переважали низькопродуктивні одно-, дворядні комбайни [6, 16, 17, 18], які працювали за принципом попереднього обрізування гички на корені з подальшим їх викопуванням. Однак ідея заміни мобільних технологічних транспортних засобів на вивезенні коренеплодів та

можливість скорочення чисельності необхідних тракторів і робітників на збиранні була також прогресивною у плані перспективної розробки сучасних надпотужних самохідних СБК провідними фірмами світу.

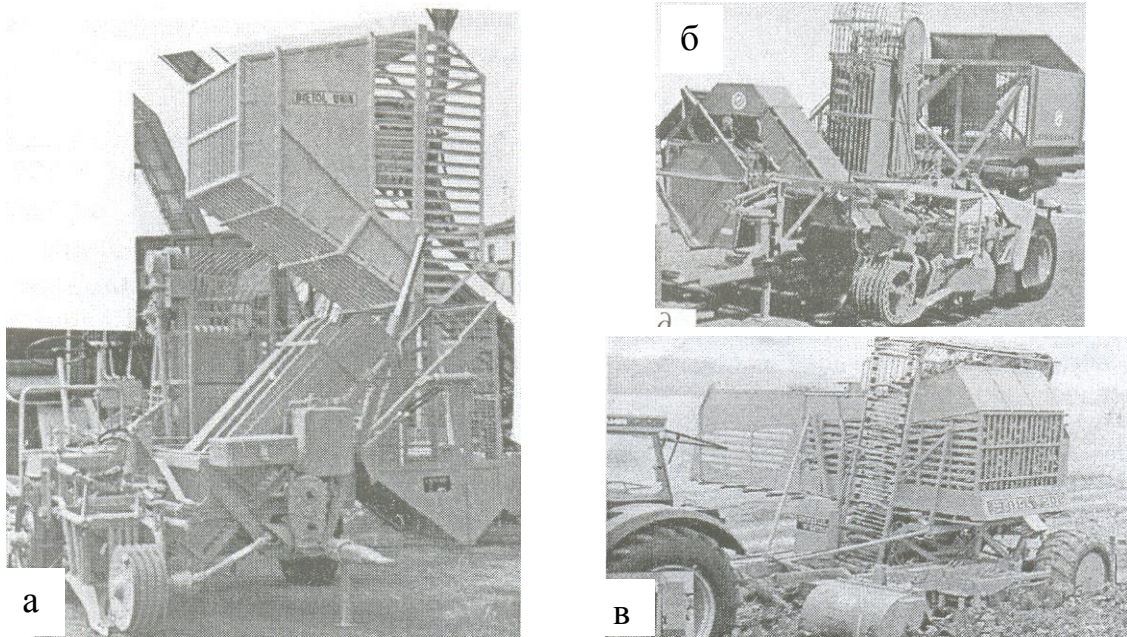


Рис. 1.4. Конструкції одно-, дворядних КМ:
а – фірма “Стенден”, б – “Викон”, в – “Штоль”

Найбільш активно проводилися дослідження і розробка машин бункерного типу в Німеччині (фірми “Кляйне”, “Штоль”, “Шмотцер”), Англії (фірма “Стендем”), Голландії (фірма “Викон”), де почали виробництво одно-, дворядних бункерних комбайнів фронтального типу (рис. 1.4), які викопували коренеплоди на сусідніх рядках з наступним їх збиранням у бункер (спочатку ємністю 1,5...2, а згодом 4...6 т) та укладанням у поперечні або повздовжні валки, вивантаженням вороху коренеплодів на краю поля або перевантаженням у транспортні засоби. Відносно невеликі площі посівів (10...60 га) обумовили на той час широке впровадження бункерної технології з використанням одно-, дворядних машин.

Враховуючи складні погодні умови збирання коренеплодів, у СРСР були продовжені подальші наукові розробки з удосконалення конструктивно-компонувально-технологічних схем комбайна брального типу. На основі розробок відбулася доволі швидка динамічна модернізація технічних рішень конструкції

комбайна брального типу шляхом запровадження потокової технології збирання [19, 20]. Як результат професійної роботи дослідників і конструкторів у 1969 р. (додаток А 2.1) було розпочато випуск потокового комбайна КСТ-3, а потім КСТ-3А з більш потужним шнековим очисником вороху та встановленим навантажувальним транспортером для завантаження коренеплодів у транспортний засіб, що рухався поруч (УКС-3).

Ці епохальні технічні рішення складної проблеми збирання коренеплодів використовувалися до середини 70-х років минулого століття. Проте показники якості роботи даних машин функціонально залежали від умов роботи, стану гички (прив'ялення гички) та забур'яненості насаджень коренеплодів, при цьому втрати на поверхні ґрунту сягали до 10...15 %, затрати ручної праці на доочищення коренеплодів – до 15..20 люд.год на 1 га [4, 13]. Проведені випробування та наукові розробки Л.В. Погорілого [21, 22] показали, що можливість подальшого удосконалення технологічних показників якості роботи комбайнів брального типу до кінця 70-х років 20 ст. були вичерпані, тому виникла необхідність прискорення робіт, спрямованих на створення принципово нових КМ, які б працювали за принципом попередньої обрізки гички на корені з наступним викопуванням коренеплодів.

Використавши набутий зарубіжний досвід збирання у вологих умовах (Данія) і на важких ґрунтах (США) [23], спеціалістами і конструкторами ДКЗ був розроблений та впроваджений дворядний комбайн СКД-2, а потім трирядний СКД-3, який відрізнявся послідовним розташуванням робочих органів і покращеними характеристиками дискових копачів, що значно знижувало втрати коренеплодів за рахунок стабілізації процесу заглиблення дисків [6, 24].

Але у зв'язку з незадовільною продуктивністю збиральних агрегатів і значним розширенням посівних площ та їх розмірних характеристик постало питання підвищення продуктивності роботи за рахунок розмежування технологічних операцій збирання гички та коренеплодів, що дозволяло збільшити рядність, або ширину захвату КМ. Бункерні машини того часу за своїми характеристиками об'ємів бункерів не забезпечували збирання коренеплодів з

усієї довжини одного гону [25, 26, 27, 28]. Тому у світовій практиці збирання коренеплодів пріоритетним напрямком був вибраний роздільний дво-, трифазний спосіб збирання [29].

Дворядний комбайн французької фірми “Моро” (рис. 1.5 а) був обладнаний пристроєм для укладання зібраних коренеплодів у повздовжні валки із шести рядків, а для підбирання утворених валків застосовували підбирач-доочисник-завантажувач, який вперше став важливою ланкою широкого застосування дво-, трифазного валкового способу збирання коренеплодів шестирядними КМ. Оригінальний комбайн, побудований за принципом “мотоплуга”, був першим прообразом самохідного комбайна у світі [6, 26].

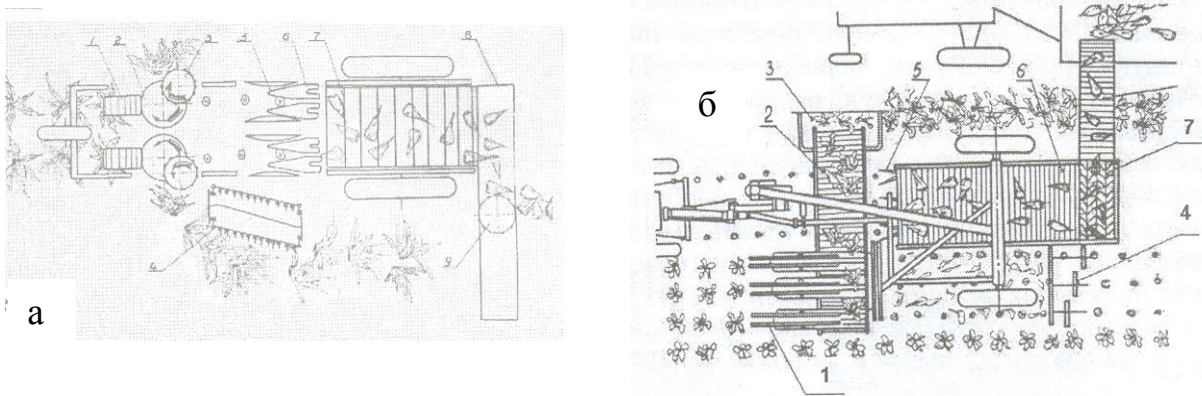


Рис. 1.5. Конструктивно-технологічні схеми КМ: а – самохідного комбайна фірми “Моро”: 1 – копір; 2 – дисковий ніж; 3, 4 – бітер і ротаційні граблі; 5, 6 – лемішні копачі; 7 – кулачковий очисник; 8, 9 – транспортер валка і зсувач коренеплодів; б – комбайна Е-711: 1 – гичкоріз; 2, 3 – транспортер і валкоукладач гички; 4 – доочисник головок; 5 – вилчасті копачі; 6, 8 – поздовжній і вивантажувальний транспортер; 7 – шнековий очисник

У НДР був впроваджений у виробництво трирядний комплекс машин для роздільного дво-, трифазного фазного способу збирання коренеплодів, який складався із гичкозбиральної машини, коренезбиральної машини Е-711 (рис. 1.5 б), яка викопувала коренеплоди вилчастими копачами, завантажувала чи укладала їх відповідно у технологічний транспорт або у повздовжні валки із шести рядків спеціальним перекидним лотком. У США в цей період фірмами

“Фармхенд”, “Джон Дір” було розроблено дво-, трирядні причіпні бункерні КМ, які вперше були побудовані за блочно-модульним типом: гичкорізальний апарат був начеплений спереду безпосередньо до рами трактора, а викопувально-сепарувальна частина причіплена за ним. Для підвищення стабільності протікання процесу викопування у верхній частині дисків вперше було змонтовано бітер-виштовхувач коренеплодів.



Рис. 1.6. Загальний вигляд збиральних агрегатів: а – гичкозбиральний + копач-валкоутворювач; б – гичкозбиральний + доочисник головок

За рахунок підвищення потужності тракторів до 90-120 к.с., шестирядні навісні комплекси (гичкозбиральна машина, коренекопач-валкоутворювач, підбирач-навантажувач) для роздільного дво-, трифазного валкового способу збирання коренеплодів у Європі (фірми “Моро”, “Еріо”, “Стенден”, “Кляйне”) були розроблені в 1970 рр. Кожний комплекс складався із начеплених на трактор окремих машин, при цьому гичку і коренеплоди укладали в повздовжні валки, а потім підбирали відповідно завантажувальними транспортерами і підбирачами-завантажувачами [23, 39, 40]. Для зменшення кількості робітників провідні фірми світу (“Стенден”, “Кляйне”) почали суміщати технологічні операції збирання коренеплодів шляхом поєднання окремих збиральних агрегатів у один – за рахунок їх одночасного розміщення фронтально на передній і задній навісках трактора (рис. 1.6), що в подальшому призвело до розробки самохідних КМ [6, 26, 29, 30, 31, 32].

Особливість даного періоду розробки КМ полягала в тому, що вперше у світовій історії комбайнобудування у конструктивно-технологічній схемі коре-

некопача-валкоукладача для звуження потоку викопаного вороху і очищення коренеплодів від домішок почали застосовувати двотурбінні (двороторні) очисники, а у підбирачах-навантажувачах для підбирання валка коренеплодів – двоконтурні, нижній і притисний верхній, пруткові транспортери і для доочищення вороху – одностурбінні очисники (рис. 1.7), удосконалені конструкції яких широко застосовують у сучасних зразках КМ [4, 26, 27, 33].

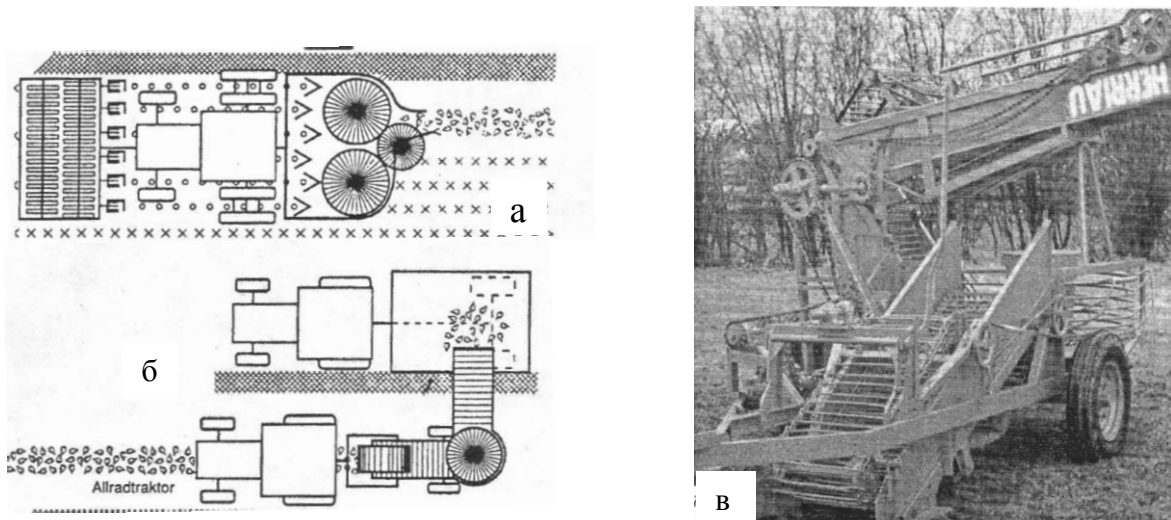


Рис. 1.7. Конструктивно-технологічна схема коренекопача-валкоукладача (а) і підбирача-навантажувача (б) фірми “Моро”; загальний вигляд підбирача-навантажувача (в) фірми “Еріо”

Уперше для розмежування напрямків потоку складових компонентів вороху – домішок і коренеплодів на два перпендикулярні потоки у конструктивну схему підбирача-завантажувача фірми “Моро” було введено комбінований доочисник вороху, який складався із горизонтального транспортера та встановленого шнека великого (0,35...0,4 м) діаметра, при цьому шнек змінював напрямок руху коренеплодів на вивантажувальний транспортер під прямим кутом [8, 10, 28, 34, 35, 36, 37].

Проте відносна залежність черговості виконання багатостадійних технологічних операцій збирання коренеплодів, незадовільна маневреність збиральних комплексів і значна кількість обслуговуючого персоналу зумовили пошук більш раціональних способів збирання середніх за обсягами площ посів.

За зразком зернозбиральних комбайнів у 1960-1970 рр. в Європі і США

почалися розробки перших зразків самохідних коренекопачів і комбайнів, привод яких відбувався спочатку за допомогою колісних тракторів, а згодом спеціальних крупнорамних шасі, на яких встановлювали силові засоби – колісні трактори або двигуни. Шестирядна самохідна КМ фірми “Боліндв-Мунтнел” (Швеція) за один прохід виконувала основні технологічні операції збирання коренеплодів: зрізування гички без копіювання головок; викопані ударно-коливними копачами коренеплоди за рахунок поперечного транспортера замкнутого типу укладались у валок, який підбирали підбирачем-навантажувачем. Активні ударно-коливні лемешні копачі були першою інженерною спробою розробки вібраційних викопувальних робочих органів.

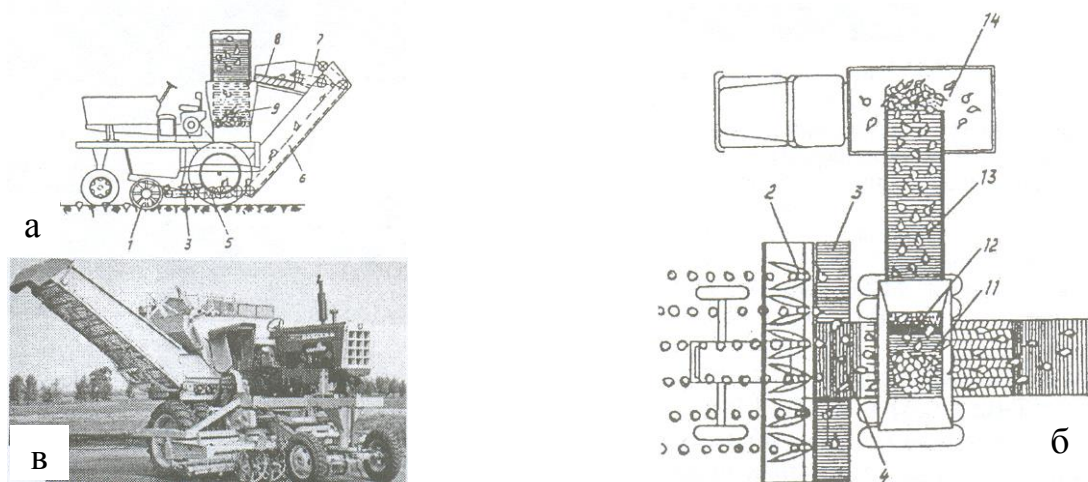


Рис. 1.8. Конструктивно-технологічна схема (а, б) і загальний вигляд самохідної КМ фірми “Парма”: 1 – дисковий копач; 2 – бітер; 3, 4, 6, 7, 11, 13 – поперечний, повздовжній, поперечний бункерний і вивантажувальний транспортери; 5, 8 – кулачковий і шнековий очисники; 9 – бункер

Шестирядна самохідна КМ фірми “Парма” (США) як основний енергетичний засіб мала встановлені на її рамі трактор, потужністю 115 к.с., дводискові копачі, вальцьовий шнековий очисник вороху і перехідний бункер-компенсатор ємністю $5,5 \text{ м}^3$, який дозволяв замінювати технологічний транспорт без зупинки робочого процесу (рис. 1.8). Привод робочих органів КМ відбувався від встановленого окремо дизельного двигуна потужністю 60 к.с. Ця розробка дала поштовх для подальшого удосконалення конструктивних схем

КМ і технологій збирання коренеплодів у Європі та Україні.

Розроблений в 1970-1980 рр. високопродуктивний комплекс самохідних шестирядних машин для роздільного дво- або трифазного способу збирання коренеплодів у ґрунтово-кліматичних умовах Росії та України з використанням самохідних КМ значно перевищував існуючі світові рівні технологій збирання [20, 38, 39, 40, 41, 42]. Виробнича конкуренція комбайнових заводів ДКЗ та Тернопільського комбайнового заводу (ТКЗ) дозволила у короткі строки почати серійний випуск самохідних КМ: КС-6 (1973 р.) із дводисковими (один приводний) викопувальними робочими органами і багатоступеневим шнековим очисником вороху при потужності двигуна 150 к.с., а у 1979 р. – модернізований варіант КС-6Б з гідростатичним приводом ходової частини з оригінальним кореневикопувальним робочим органом – конусоподібними активними вилками з коренезабірниками та встановленим на рамі КМ трактором МТЗ-80 із демонтованими колесами (додаток А 3.1).

У подальшому (1980-1990 рр.) були впроваджені модернізовані варіанти (додаток А 3.1) цих машин з різною модифікацією змінних копачів для відмінних ґрунтово-кліматичних умов збирання, які знайшли широке використання при потоковій або потоково-перевалочній технології збирання коренеплодів у країнах соціалістичного табору. Застосування трифазного способу збирання дало можливість значно зменшити загальну фабричну забрудненість сировини у вологих умовах збирання. Наукові напрацювання в галузі загальних тенденцій розвитку технологій і способів збирання та технологічно-конструктивних схем КМ визначили їх стратегічний напрямок, який реалізований у сучасних високопродуктивних збиральних комплексах.

Сучасний період розвитку КМ характерний стрімким переходом до однофазного способу збирання коренеплодів, який поєднував одно-, двофазне збирання коренеплодів СБК із великою ємністю бункера. Конструктивний прорив настав після розробки компактних гичковидаляючих і викопувальних робочих модулів, систем очищення вороху і автоматичного керування машини по рядках коренеплодів. Подальше конструктивне удосконалення цих машин

призвело до розміщення гичкозбиральних робочих органів разом з копачами за межами бази машини на передній навісці – самохідний комбайн “Бета Кинг” (ФРН) мав двостадійний агрегат для видалення гички і дводискові приводні копачі, які були навішені в передній частині направляючого моста [6, 33, 27, 43]. Дана конструктивно-компонувальна зовнішність КМ була однією з перших СБК, що призвело до подальшого розвитку і модернізації в процесі еволюційного розвитку технологічно-конструктивних рішень коренезбиральної техніки.

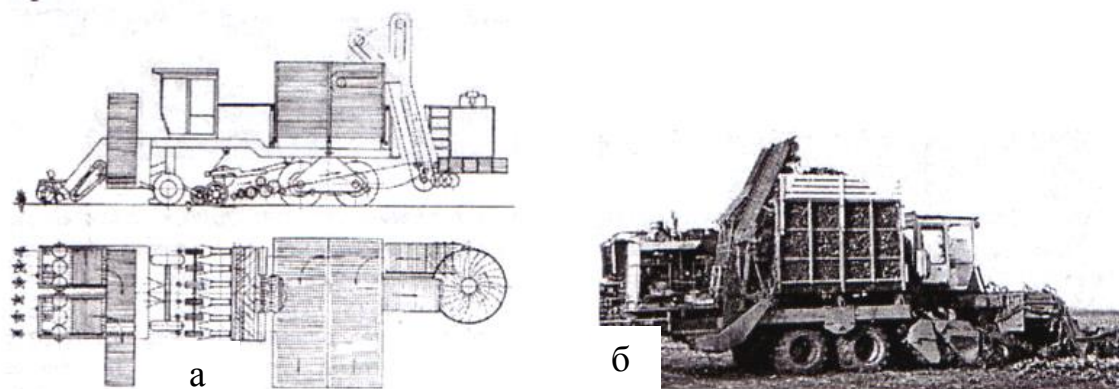


Рис. 1.9. Дослідний зразок самохідного шестирядного бункерного комбайна:

а – конструктивна схема; б – загальний вигляд

У 1982 р. на базі спільних наукових розробок УкрНДІСГОМ і “Ваймар-Комбінату” (НДР) був виготовлений і апробований макетний дослідний зразок шестирядного СБК (рис. 1.9) з ємністю бункера 20 м^3 , у якому гичкорізувальний модуль, подібний гичкозбиральній машині БМ-6, навішувався на триосну несучу ходову систему спереду ведучих коліс, а викопуючий модуль – за ними. На той час дослідний зразок комбайна мав прогресивні базові параметри, які співставні з розробленими пізніше та впровадженими у виробництво однофазними високопродуктивними СБК провідних фірм “Кляйне”, “Мотро”, “Ропа” з місткістю бункера до 30 м^3 , що дозволяє формувати великі польові кагати коренеплодів або вивантажувати коренеплоди в магістральні транспортні засоби залежно від застосованої технології збирання. Але технічні та економічні умови розвитку України не сприяли виробництву та впровадженню таких складних у технологічному плані виготовлення машин.

Особливістю конструктивних схем таких шестирядних СБК (рис. 1.10)



а



б



в



г



д



е



ж



з



к



л

Рис. 1.10. Загальний вигляд шестирядних СБК: а – SF-10 “Кляйне”(ФРН); б – “P.Varigelli & C” (Італія); в – “Moreau” (Франція); г, л – “Holmer” (ФРН); д – “Ropa” (ФРН); е – “Motto” (Франція); ж, к – SR-2500 “Tim” (Данія); з – “Tetra” (Італія)

провідних фірм світу “Кляйне”, “Ропа”, “Холмер” (ФРН), “Франкю”, “Моро”, “Матро” (Франція), “Барігеллі” (Італія), “Тіллес” (Бельгія), “Агрифаг” (Голландія), “Тім” (Данія) є центральне повздовжнє транспортування викопаного вороху коренеплодів, що вносило свої відповідні корективи в компоувальні схеми розміщення базових вузлів на основній рамі машини (“кабіна-активні робочі органи-бункер-двигун”), тобто різноманітністю розташування складових очисних систем, завантажувальних і вивантажувальних транспортерів, ємністю бункера та потужністю двигуна, системою привода вібраційних лемішних копачів тощо.

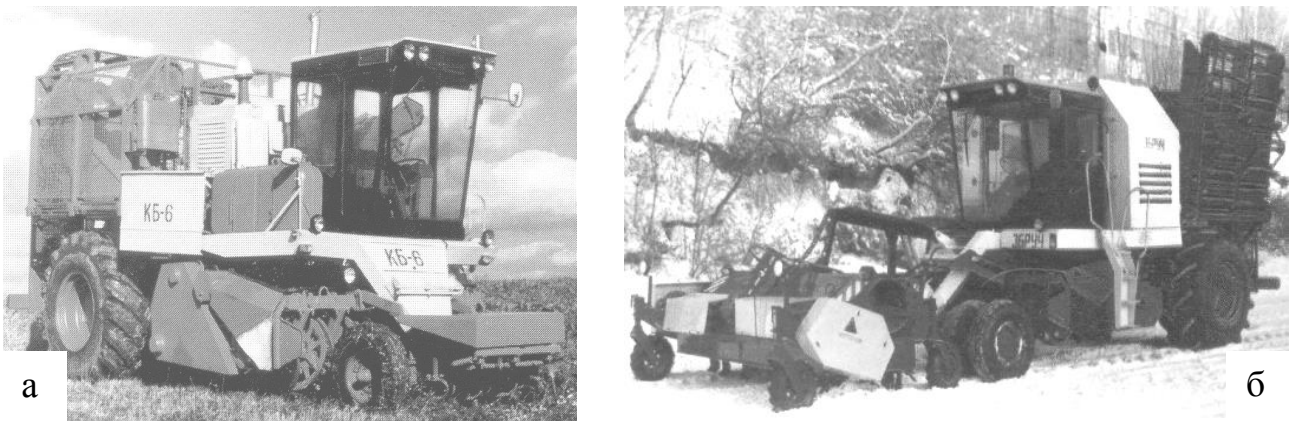


Рис. 1.11. Загальний вигляд СБК: а КБ-6; б – “Збруч”

Загальні тенденції розвитку конструктивно-компоувальних і функціональних схем КМ у світі, починаючи з 50-х років 20-го століття, характеризуються поступовим удосконаленням дво-, три-, чотиристадійної технології збирання коренеплодів у напрямі суміщення складових її операцій в одному робочому процесі та повного усунення, в міру можливості, ручних робіт на операції доочищення викопаного вороху коренеплодів. Це застосування однофазного способу збирання коренеплодів, який передбачає виконання одним коренезбиральним агрегатом всіх технологічних операцій залежно від застосованої технології збирання [7, 21, 23, 29, 32, 42, 44, 45, 46, 47, 48].

Розробка самохідної бункерної КМ КБ-6 (рис.1.11 а) для двофазного збирання ЦБ в Україні почалася на кінці 20-го століття спеціалістами СКБ ВАТ “Тернопільський комбайновий завод” (ВАТ “ТеКЗ), подальше удосконалення

якої призвело до створення експериментального дослідного зразка СБК “Збруч” (рис. 1.11 б), який на даний час не впроваджений у виробництво [9, 49].

Характерною ознакою сучасного періоду розвитку КМ є те, що в процесі удосконалення конструктивних і технологічних рішень коренезбиральної техніки активно удосконалювалися конструкції гичкозрізувальних, викопувальних, очисних і транспортуючих робочих органів, а також ходових систем і бункерів, що дозволило розробити і впровадити в виробництво фірмою “Кляйне” принципово нову конструктивну схему КМ нового покоління – СБК SF-20 (рис. 1.12) з боковим транспортуванням викопаного вороху в бункер коренезбиральної машини.

Таке розташування робочих органів дозволило більш компактно розмістити на рамі машини основні складові елементи КМ: трансмісію, гідросистему, двигун, бункер і кабіну, засоби контролю і управління тощо, що дало можливість значно збільшити ємність бункера (до 30...40 м³), при цьому потужність двигуна збільшилась до 420...450 к.с.

Для здешевлення СБК і більш ефективного використання енерго-ходової системи самохідних машин ряд фірм вже пропонують модульну конструкцію КМ. Наприклад, на універсальний енергозасіб “Ксеріон” фірми “Клаас” і енергозасіб УЭС-250 (Республіка Білорусь) начіплюють змінні комплекси збиральних машин, які побудовані за блочним принципом.



Рис. 1.12. Загальний вигляд СБК SF-20 фірми “Кляйне”

1.2. Аналіз конструктивно-технологічних схем очисних робочих органів КМ

Відокремлення значної кількості вільного та налиплого на поверхні тіл коренеплодів ґрунту, рослинних домішок (4...8 кг/п.м) [6] є важливим та відповідальним завданням у загальному контексті дотримання агротехнічних вимог до процесу збирання коренеплодів у цілому. Конструктивна та технологічна недосконалість ОРО КМ, недостатнє обґрунтування вибору їх параметрів і взаємозв'язку між собою на основі системного підходу до вирішення даної проблеми [6, 22, 47, 50] значною мірою знижує техніко-економічні показники вітчизняних КМ, у той час як переважна більшість зарубіжних машин не пристосована до складних умов збирання коренеплодів в Україні [6, 7, 9, 10].

Для відокремлення різноманітних за фракційним складом і фізичним станом домішок від коренеплодів необхідні різні за своїм видом і структурою механічні силові навантаження та дії, що й зумовлює наявність багатогранних конструктивно-компонувальних схем і комбінованих варіантів різних типів ОРО, які відрізняються один від одного не тільки конструктивними критеріями, але й принципом дії або способом відокремлення домішок [6, 34, 51, 52].

Проблема підвищення технічного рівня КМ, основними критеріями оцінки яких є співвідношення втрат, забрудненості та пошкоджень коренеплодів до їх зібраної маси, а також дослідження основних аспектів і особливостей функціонування технологічного процесу роботи очисників вороху залишається особливо актуальною науковою проблемою щодо подальшого удосконалення конструктивних особливостей ОРО і розвитку вітчизняної коренезбиральної техніки.

Проведений аналіз еволюції розвитку конструкцій КМ і технологічних процесів збирання коренеплодів (п. 1.1) повною мірою показує, що загальною світовою тенденцією збирання коренеплодів є масовий перехід на надпотужні СБК, які оснащені складними багатоступневими системами очищення викопаного вороху коренеплодів, що значно ускладнює конструкцію КМ, підвищує

енергетичні затрати на збиранні і купівельну ціну виробу, тобто знижує економічну ефективність використання таких машин.

Найбільш компактні КМ мають загальну площу очисних систем біля 10 м², а СБК – до 15 м² [6, 9].

Як правило, всі ОРО виконуються просіваючи-фрикційного типу, тобто очищення коренеплодів відбуваються за принципом розділення розмірних характеристик компонентів вороху та їх фрикційних властивостей і виконують функції транспортування вороху з одночасним просіювання складових компонентів домішок відповідних розмірів через сепарувальні зазори.

За конструктивним виконанням і технологічною схемою відокремлення домішок від коренеплодів із складу вороху більшість КМ оснащенні основними трьома типами ОРО: елеваторні, вальцьові та турбінні ОРО з різними варіантами і комбінаціями поєднання та інтенсифікації їх робочих органів. Такі типи конструкцій очисників, як правило, здійснюють “агресивну” сепарацію вороху, коли від коренеплодів відділяється основна маса вільного ґрунту та рослинних домішок [33, 47, 53, 54, 55, 56, 57] і переважно розташовуються за ВРО.

Класифікацію ОРО наведено на рис. 1.13. Загальний вигляд ОРО у плані класифікаційних схем наведено на рис. 1.А.4.2 додатку А 4.2.

Одноконтурні елеваторні ОРО, на відміну від двоконтурних (рис. 1.14), практично не очищають налиплий ґрунт на поверхні тіла коренеплодів при задовільній сепарації вільного ґрунту і в сучасних СБК виконують з'єднувальні функції транспортування вороху від одного до іншого вузла ТТС КМ. У елеваторних ОРО робоче русло, як правило, утворене різними комбінаціями встановлених горизонтально або під кутом до горизонту пруткових транспортерів (рис. 1.14, а, б). При цьому верхній контур (рис. 1.14, в, г) може бути пасивним (нерухомим) або активним.

За рахунок деякої різниці робочих швидкостей руху верхнього та нижнього контурів відбувається часткове розосередження вороху коренеплодів, їх відносне переміщення, часткове подрібнення грудок ґрунту та сепарація домішок через зазори між прутками нижнього контура ОРО.

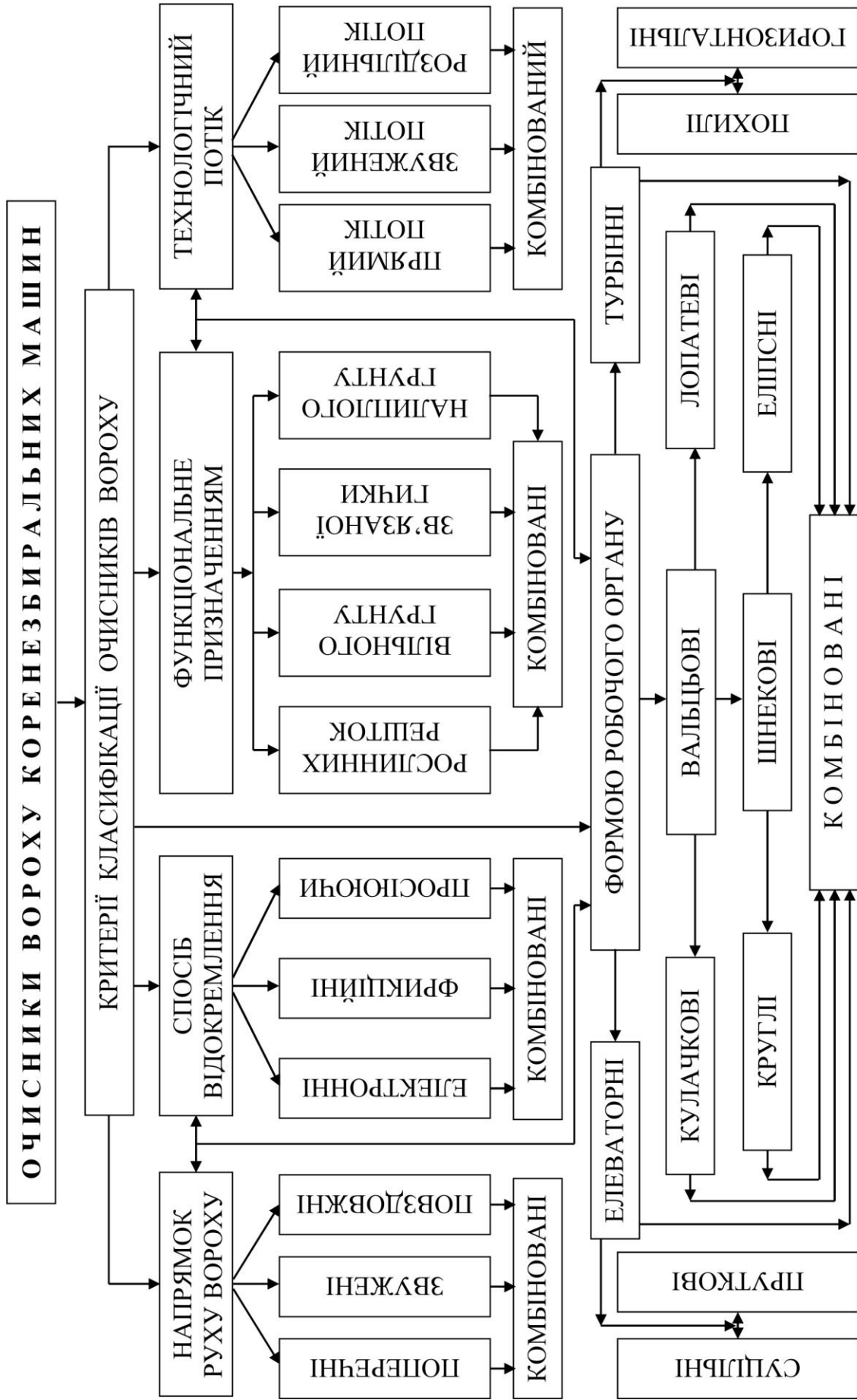


Рис.1.13. Класифікація ОРО коренезбиральних машин

Для інтенсифікації процесу відокремлення домішок від коренеплодів у якості активізуючих елементів застосовують різного типу активатори – поперечні або повздовжні щіткові транспортери (рис. 1.15, а), шнеки (рис. 1.15, б, в) тощо, які розташовують над робочою гілкою елеватора.

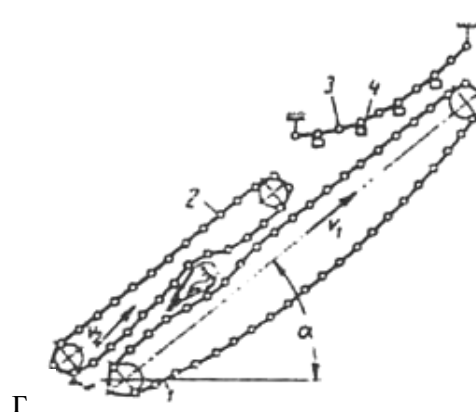
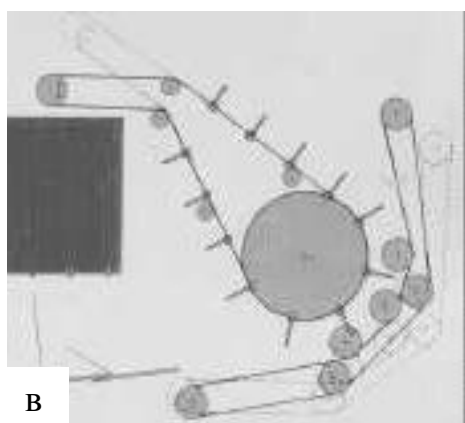


Рис. 1.14. Загальний вигляд і схеми елеваторних ОРО:

а, б – одноконтурних; в, г – двоконтурних

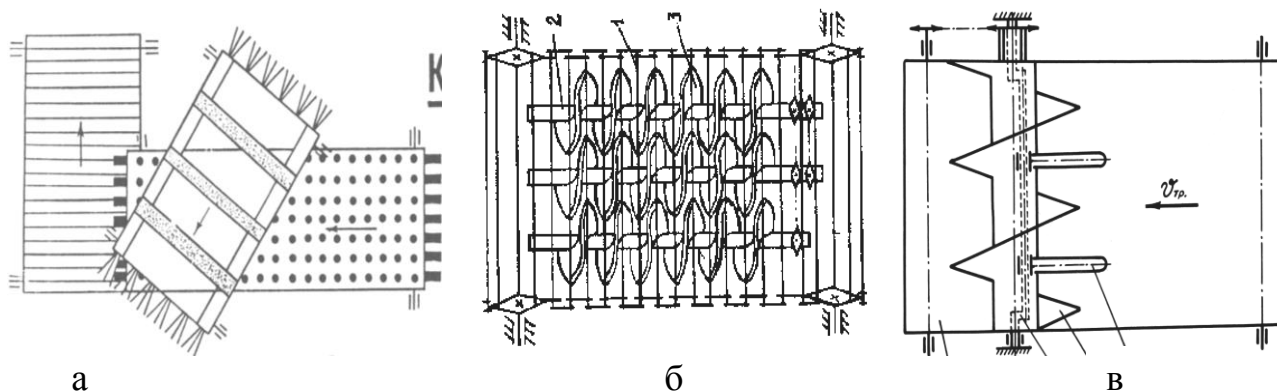


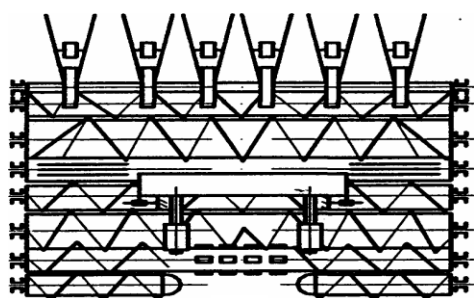
Рис. 1.15. Конструктивні схеми елеваторних ВРО із активаторами:

а – щітковим транспортером; б – шнеками; в – шнеком із вихідними пальцями

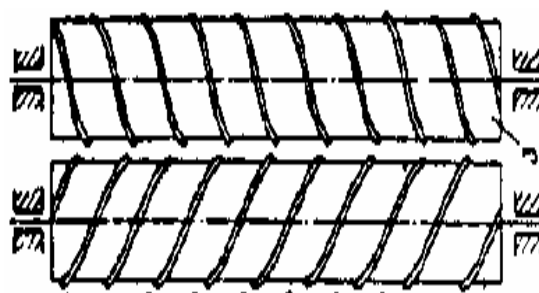
Велика множина вальцових очисників, до яких відносяться шнекові, кулачкові та лопатеві ОРО, характеризується, не тільки конструктивним різноманіттям, але й різноманітністю технологічного процесу роботи у складі конструктивно-компонувальних схем КМ [34, 47, 51, 58, 59, 60].

Розрізняють дві основні групи шнекових ОРО: поперечні та повздовжні, при цьому в першому випадку ворох рухається поперек розташування осей обертання шнеків, які можуть мати одно- або зустрічносторонній напрямок обертання суміжних шнеків, а в другому випадку ворох рухається вздовж осей обертання шнеків, які мають тільки зустрічний напрямок обертання шнеків.

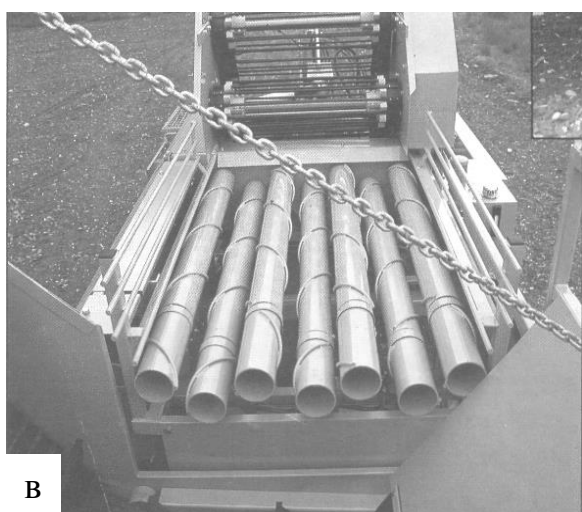
Основна маса вільного сипкого ґрунту при сепарації вороху на шнекових ОРО виділяється в їх передній частині, причому за рахунок взаємодії з рифами шнеків повздовжнього шнекового ОРО коренеплоди частково звільнюються від налиплого на їх поверхні ґрунту.



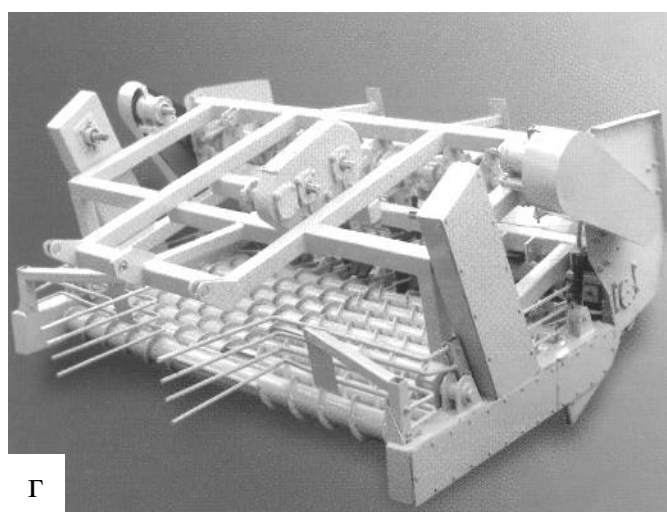
а



б



в



г

Рис. 1.16. Схеми та загальний вигляд поперечних (а, г)

і повздовжніх (б, в) шнекових ОРО

Повздовжні шнекові ОРО (рис. 1.16, б, в) забезпечують очищення і транспортування вороху в напрямку осі обертання шнеків і характеризуються протилежним напрямком навівання та обертання рифів із різною кутовою швидкістю (КМ МКП-4, зарубіжних фірм “Garford-Victor”, “Heath”) тощо.

Поперечні шнекові очисники, як правило, застосовуються в конструкціях багаторядних КМ, їх особливістю є те, що шнекові вали обертаються в одному напрямку, а витки виготовляються з право- або лівостороннім напрямком навівання на барабані шнека.

Поперечні шнекові ОРО, як правило, розташовують за ВРО, забезпечуючи розведення викопаного вороху до периферії шнеків, а задній блок шнеків зводить розведений потік вороху в центральну частину вивантаження (рис. 1.16, а) або звуження і очищення вороху від домішок відбувається за допомогою двох або декількох шнеків, які переміщують викопаний ворох уздовж своїх осей обертання від периферії шнеків до їх середньої частини, де два потоки вороху зустрічаються проти вікна і, повернувшись на 90°, направляються крізь нього на наступні ТТС КМ.

Конструктивна складність розташування підшипникових опор у повздовжніх шнекових ОРО і, як наслідок, виникнення “мертвих зон” на шляху транспортування вороху обмежило їх широке застосування в конструктивно-компонувальних схемах сучасних КМ [61, 62].

Основними недоліками всіх шнекових ОРО є:

- залипання витків шнеків землею в процесі роботи у вологих ґрунтово-кліматичних умовах (вологість > 24 %), що значно знижує показники якості процесу сепарації домішок;
- значні пошкодження коренеплодів під час безпосередньої взаємодії з витком шнека, ймовірність чого збільшується в процесі збирання коренеплодів на висушених ґрунтах (вологість ґрунту < 12 %);
- із підвищенням вологості до 28% і в умовах значної забур'яненості поля очисники втрачають функцію просіювання ґрунту та рослинних домішок внаслідок залипання шнеків ґрунтом і намотуванням бур'янів на їх поверхні [6, 63].

До недоліків кулачкових ОРО (рис. 1.17) відносяться значні пошкодження дрібних коренеплодів внаслідок їх защемлення між лопатями кулачків, намотування бур'янів на елементи конструкції робочого органа та незначний очисний ефект, що виникає при цьому, а також неспроможність руйнувати однорозмірні з коренеплодами грудки ґрунту внаслідок жорсткої залежності лінійних розмірів кулачків від розмірних характеристик коренеплодів і грудок [6, 34, 64, 65, 66, 67, 68, 69].

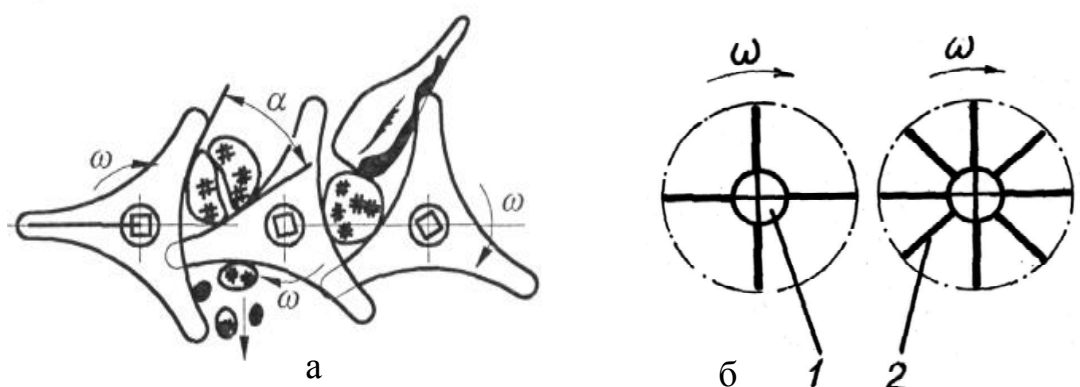


Рис. 1.17. Конструктивні схеми вальцьових ОРО:

а – кулачковий очисник; в – лопатевий очисник

Роторні ОРО виконують функції як формування потоку вороху після його викопування ВРО і транспортування (рис. 1.18, а, б), так і очищення вороху від домішок, завдяки чому застосовуються практично у всіх сучасних КМ Західної Європи в різних комбінаціях із шнековими та елеваторними технологічними системами (рис. 1.18, в, г). Всі роторні ОРО являють собою решітчастий ротор, який закріплено на вертикальній (горизонтальні турбінні ОРО, рис. 1.18, а, б) або нахиленій під деяким кутом до горизонту (похилі турбінні ОРО, рис. 1.18, в, г) та встановлене по периферії ротора (вертикально або під кутом) пруткове огороження, яке виконано з секційних пруткових решіток, набраних із підпружинених криволінійних прутків круглого поперечного перерізу.

Інтенсивне очищення коренеплодів від налиплого ґрунту на їх поверхнях та просіювання через зазори ротора і огороження вільних ґрунтових і рослинних домішок відбувається за рахунок обертання ротора, при цьому його

прутками вороху надається коловий рух відносно осі ротора, а коренеплоди, які мають значно більшу вагу відносно ваги домішок, своїми поверхнями притискаються до прутків периферійного огороження ротора під дією відцентрових сил, при цьому за рахунок сил тертя по прутках, зміни напрямку руху потоку вороху (рис. 1.18, а, г) та встановлення по краях решітного огороження додаткових активаторів (рис. 1.18, а)

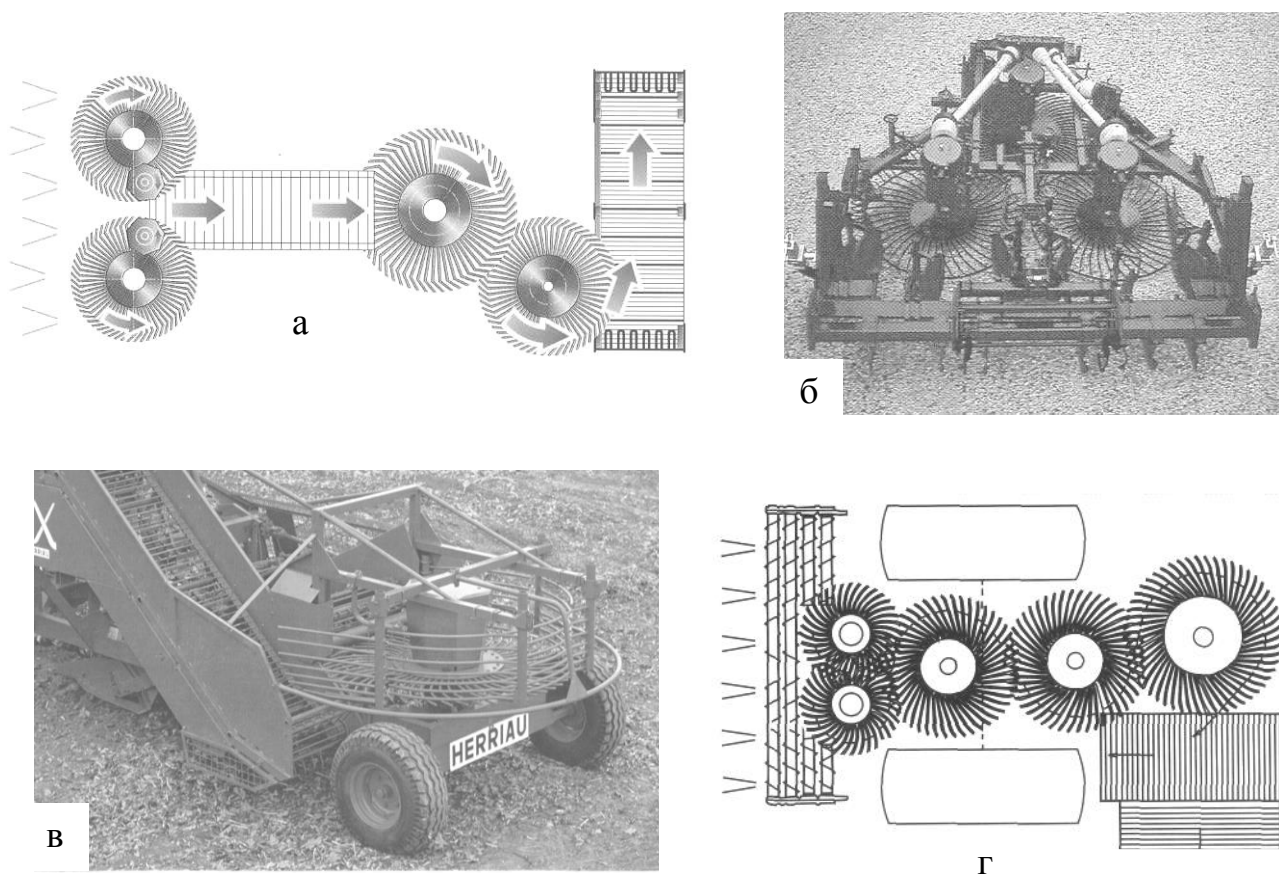


Рис. 1.18. Схеми (а, г) та загальний вигляд (б, в) розміщення турбінних ОРО у конструктивно-компонувальних схемах КМ: а, б – після ВРО; в, г – у комбінації з елеватором (в) і шнековим ОРО (г)

Окрім втрат коренеплодів, які виникають через наявність зазору в зоні переходу вороху з одного ротора на другий і, як наслідок, вмивання їх у розпушений ґрунт і суттєвого пошкодження коренеплодів, ротори мають велику енергоємність процесу та створюють значні навантаження на вузли приводу, в яких обертаються вали, а тому дані робочі органи мають відповідати жорстким вимогам щодо дотримання технології їх виготовлення [6, 55, 70].

1.3. Аналіз результатів проведених досліджень і обґрунтування вибору робочого органу

Теоретичному та експериментальному дослідженню технологічних процесів сепарації вороху коренеплодів із визначенням конструктивно-кінематичних параметрів ОРО присвячені праці вчених П.М. Василенка, Л.В. Погорілого, В.М. Булгакова, М.М. Хелемендика, П.В Савича, Б.М. Гевка, Б.П. Шабельника, Р.Б. Гевка, Ю.Б. Аванесова, А.К. Сарапулова, Р.М. Рогатинського, М.І. Підгурського, В.М. Полупанова, В.М. Пришляка та ін. [6, 21, 33, 35, 36, 37, 47, 53, 52, 57, 62, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89]. За результатами наукових досліджень описані основи теорії взаємодії коренеплодів з робочими поверхнями очисників на основі оптимізації раціональних параметрів робочих органів і технологічних процесів сепарації коренеплодів, викладені методики проведення експериментальних досліджень та розрахунку очисних робочих органів базових вузлів КМ.

Л.В.Погорілий [6] встановив, що теоретичний розгляд очисних робочих органів, які переробляють вхідний потік технологічної маси $g_m(+)$, необхідно моделювати на основі рівнянь матеріального балансу і поняття “вхід-вихід” системи, а вхідна кількість вороху $g_m(+)$ лінійно залежна від швидкості руху та ширини захвату КМ. Вихідна кількість вороху $g_o(-)$ для кожного j -го очисника в середньому задовольняє умові балансу з врахуванням відділення маси домішок g_{om}^j , а сумарна ступінь сепарації ε вороху коренеплодів описується загальним універсальним виразом залежно від довжини L або розмірів очисника, тобто

$$\bar{g}_o^j(t) = \bar{g}_m(t) - \bar{g}_{om}^j(t), \quad (1.1)$$

$$\varepsilon = \bar{g}_m / \bar{g}_o = 1 - \sum_{j=1}^n \varepsilon_j = 1 - A e^{kL}, \quad (1.2)$$

де A , k – дослідні коефіцієнти, які залежать від фізичного стану ґрунту і рослинних домішок, урожайності коренеплодів тощо.

Подальшому удосконаленню процесів та робочих органів бурякозбиральних машин присвячені наукові праці В.М. Булгакова [71, 73, 90, 91], результатом яких є розробка ряду перспективних схем машин, які поєднують знакозмінні процеси сепарації коренеплодів різними типами робочих органів з обґрунтуванням їх раціональних параметрів. Було встановлено, що найбільші значення потужності припадають на подолання тягового опору (29,85 кВт), що складає 56 % від загальних енерговитрат машини. На копачі і транспортно-сепаруючі робочі органи припадає 16,4 кВт, що складає 31 % від енерговитрат на процес збирання коренеплодів, тоді як очисники поглинають близько 6,5 % від загального балансу енерговитрат.

Наукові праці М.М. Хелемендика [82, 92], Б.П. Шабельника [93, 94, 95], Татьянка Н.В. [25, 28], А.К. Сарапулова [96], О.А. Саржанова [99] присвячені дослідженню процесів роботи барабанно-шнекових і кулачкових очисних робочих органів. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано очисний пристрій, який містить зустрічно навиті спіралі і забезпечує розкришення грудок ґрунту та доочищення коренеплодів від налиплого ґрунту. Розрахункові залежності відображають лише основні закономірності процесів і взаємозв'язку між параметрами шнеків, а остаточний їх розрахунок проводиться з врахуванням випробувань у реальних умовах експлуатації. Ними встановлено раціональні параметри очисників залежно від роботи машини на різних ділянках поля [82] та наведено залежності для визначення конструктивно-кінематичних параметрів за умови безвідривного руху компонентів вороху по поверхнях робочих органів та його рівномірного розподілу у технологічному руслі переміщення, що забезпечує мінімізацію пошкоджень тіла коренеплодів [95]. Встановлено [96, 99], що оптимальна кутова швидкість обертання кулачків знаходиться у межах 19,0...20,0 рад/с, кут нахилу очисника до горизонту – 15° .

Праці Л.В. Погорілого, Р.М. Рогатинського, М.Г. Данильченка, Б.М. Гевка, Р.Б. Гевка, М.О. Гандзюка, Н.Є. Влас, А.Ю. Виговського та ін. [6, 33, 35, 36, 47, 54, 55, 58, 62, 97, 98, 99, 100, 101] присвячені дослідженню параметрів

шнекових очисників круглого та еліпсного перерізу. Авторами на основі аналізу характеру руху коренеплодів у технологічному руслі побудовано математичні моделі коефіцієнтів динамічності процесу, які характеризують безпосередньо взаємодію коренеплодів між собою та з шнековими робочими органами і, в кінцевому випадку, ступінь очищення вороху залежно від співвідношення конструктивно-кінематичних і динамічних параметрів робочих органів.

Основні положення теорії динамічної сепарації вороху коренеплодів і методики обґрунтування раціональних конструктивно-кінематичних параметрів шнекових робочих органів викладено в наукових працях Р.Б. Гевка [33, 47, 56, 89]. Підвищення інтенсивності сепарації вороху відбувається за рахунок збільшення кутової швидкості обертання коренеплодів та зміни їх прискорень. Для загального випадку ударної взаємодії коренеплоду з робочим органом, який зв'язаний пружною ланкою з масою його приводу, складено систему рівнянь руху системи, яка дозволяє оцінити глибину пошкоджень тіла коренеплоду:

$$\begin{cases} m_1 \bar{Y}_1 + m q \cos \gamma + P = 0; \\ m_2 \bar{Y}_2 + P + C(Y_{20} - Y_2) = 0 \end{cases} \quad (1.3)$$

Ним встановлена закономірність, яка описує, що вміст ґрунту на коренеплодах змінюється у часі за експоненціальним законом:

$$\Delta m(t) = \Delta m_0 e^{-\lambda(t, t_0)}, \quad (1.4)$$

де Δm_0 – маса ґрунту у початковий момент переміщення коренеплодів по робочих органах очисника, кг; λ – стаціонарна випадкова функція інтенсивності очищення.

Б.М. Гевком, М.Г. Данильченком і Р.М. Рогатинським [60, 76, 78, 79, 102] було встановлено, що при коефіцієнті динамічності очищення вороху 0,5...0,8, раціональними конструктивно-кінематичними параметрами процесу сепарації

вороху еліпсними очисниками є кутова швидкість обертання еліпсних шнеків 15...30 рад/с, лінійна швидкість переміщення коренеплодів вздовж плоского русла 0,5...1,0 м/с.

На основі використання взаємозв'язку між коефіцієнтом динамічності та ступенем очищення цукрових буряків [55] було розроблено методику визначення ефективності шнекових очисників:

$$W = 100 \left(\frac{K_{\partial}^{\sigma}}{K_{\partial}^m + C} \right) n, \quad (1.5)$$

де W – ступінь очищення коренеплодів; K_{∂}^{σ} , K_{∂}^m – відповідно коефіцієнти динамічності базового і модернізованого очисників; C і n – коефіцієнти, які розраховані для кожного типу очисника на основі експериментальних залежностей, при цьому $C = 0,09; 0,03$ і $n = 0,95...1,0; 1,3$ для еліпсних і роторних очисників.

Р.М. Рогатинським встановлено, що пошкодження коренеплодів пов'язані з виникаючими максимальними напруженнями центрального пружного удару у жорстку стінку, величина якого пропорційна масі та швидкості взаємодії коренеплодів з робочими поверхнями очисника, кривини поверхні тіла коренеплоду та коефіцієнту Пуасона. Виведена залежність для визначення напружень, які характеризують рівень пошкодження коренеплодів при їх ударі у жорстку поверхню [78, 79]:

$$\sigma_{max} = 0,364 K_{ij}^{1,07} m^{0,2} V_o^{0,4} (K_1 + K_2)^{0,467}, \quad (1.6)$$

де K_{ij} – параметр моделі; m – маса коренеплоду, кг; V_o – швидкість коренеплоду перед ударом, м/с; K_1 , K_2 – відповідно мінімальна кривизна робочого органу та тіла коренеплоду, м.

Для остаточного очищення коренеплодів від домішок і інтенсифікації процесу розподілення компонентів вороху застосовують доочисні робочі органи, які являють собою комбіновані варіанти ОРО [103, 104] і знаходяться в середині або в кінці технологічного русла машини, а їх дія на коренеплоди

характеризується значно меншим ступенем агресивності, що обумовлює їх широке впровадження в конструктивно-технологічні схеми КМ [105, 106].

Для інтенсифікації процесу розмежування та відокремлення домішок від коренеплодів запропоновано застосовувати комбіновані очисні системи (КОС) [35, 36, 105, 106, 101, 107]. КОС представляють собою комбінації елеваторних і шнекових ОРО (рис. 1.19) та застосовуються залежно від конкретних функцій очисних пристроїв, умов роботи, а також для регулювання ступеня агресивної дії очисних поверхонь на коренеплоди.

Шляхом надання коренеплодам знакоперемінного вертикального осилуючого руху Н.Є Влас запропонувала виконувати шнекові очисні вали

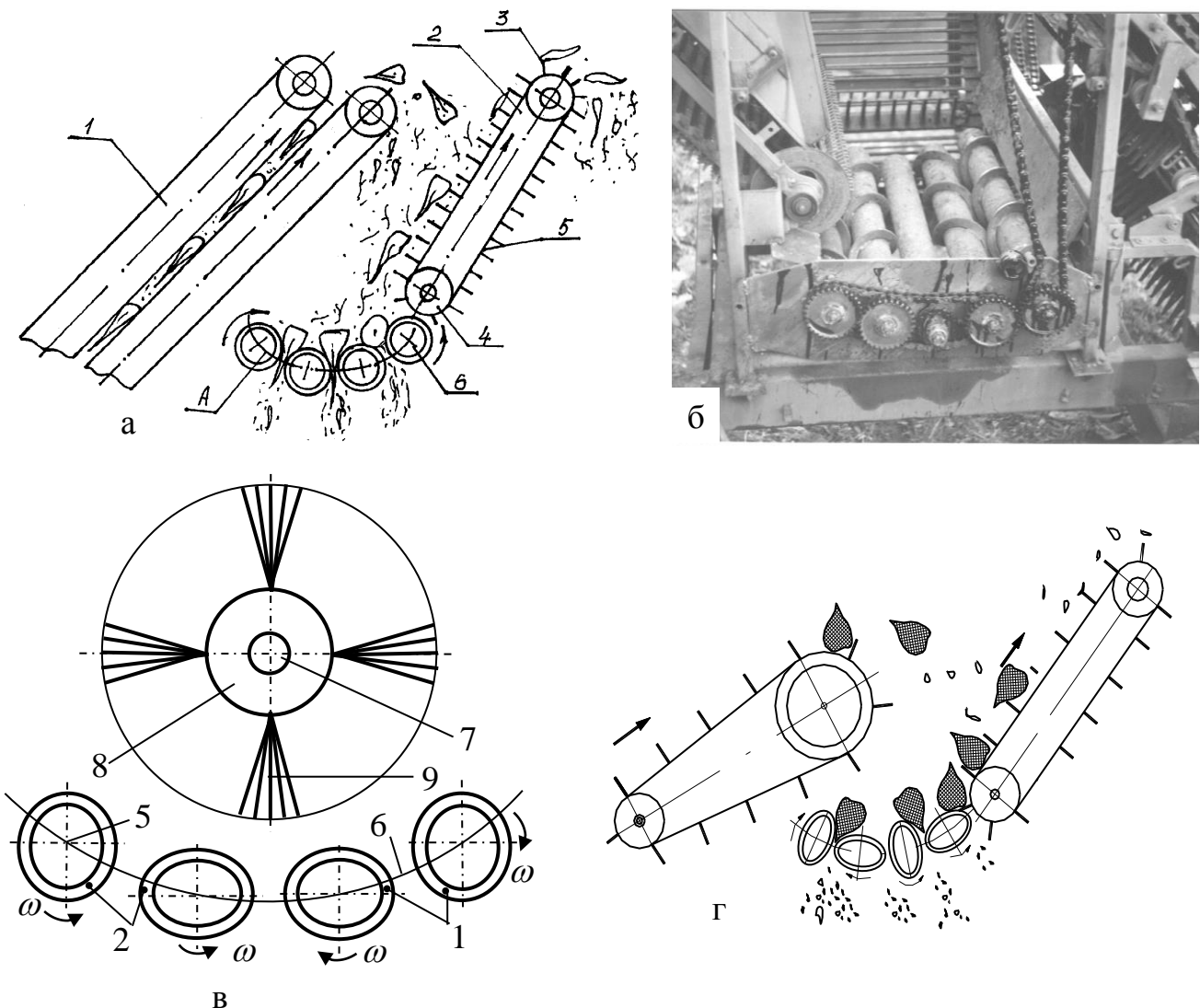


Рис. 1.19. Схеми та загальний вигляд КОС: а, б – із шнековими ОРО круглого перерізу; в, г – із еліпсними шнековими ОРО

ексцентричними [101] та еліпсними [102] відповідно.

Особливістю таких робочих органів має бути низький ступінь агресивної дії сепарувальних поверхонь на коренеплоди з метою уникнення їх механічних пошкоджень, оскільки на даному етапі очищення вороху основна маса викопаних домішок ґрунту вже просепарована і відповідно зростає ймовірність безпосередньої взаємодії робочого органу з тілом коренеплодів.

КОС вороху коренеплодів (рис. 1.19, а, б) є поєднанням двоконтурного елеваторного 1 ОРО і очисної гірки 2 з пальчиковою поверхнею 3. У нижній частині очисної гірки розміщено повздовжній шнековий 6 ОРО, причому осі обертання шнеків знаходяться на нижній вітці еліпса, які утворюють жолоб робочого русла. Шнеки виконані з круглим перерізом [127] на відміну від двох пар еліпсних шнеків 1, 2 (рис. 1.19, в) і 6, 7 (рис. 1.19, г) повздовжніх шнекових ОРО [104, 108].

На основі проведених досліджень [101] встановлено залежність відносної швидкості контакту і швидкості нормального зближення коренеплоду з рифом еліпсного вальця від кутових параметрів точки контакту і кутової швидкості обертання вальця

$$\bar{V}_e = \{V_k \cos \gamma + [(R_2 - r \cos \varphi_e) \sin \psi_e - r \sin \alpha \sin \varphi_e \cos \psi_e] \omega_e\} \bar{i} - \{V_k \sin \gamma - [(R_2 - r \cos \varphi_e) \cos \psi_e + r \sin \alpha \sin \varphi_e \sin \psi_e] \omega_e\} \bar{k}; \quad (1.7)$$

$$|\bar{V}_{збл}| = |\bar{V}_e \cdot \bar{n}| = \{V_k \cos \gamma + [(R_2 - r \cos \varphi_e) \sin \psi_e - r \sin \alpha \sin \varphi_e \cos \psi_e] \omega_e\} \times \\ \times (\cos \varphi_e \cos \psi_e - \sin \alpha \sin \varphi_e \sin \psi_e) - \\ - \{V_k \sin \gamma - [(R_2 - r \cos \varphi_e) \cos \psi_e + r \sin \alpha \sin \varphi_e \sin \psi_e] \omega_e\} \times \\ \times (\cos \varphi_e \sin \psi_e - \sin \alpha \sin \varphi_e \cos \psi_e). \quad (1.8)$$

Було встановлено, що зміна відносних швидкостей має косинусоїдальний (синусоїдальний) характер і збільшується зі збільшенням кутових параметрів – максимальне значення V_e (по модулю) досягається при кутових параметрах близьких до 90° і, як правило, не перевищує 2,0 м/с. Графік зміни відносної швидкості залежно від зміни кутової швидкості обертання вальця має лінійний характер.

На основі аналізу взаємодії коренеплоду з робочою поверхнею еліпсного вальця і розрахункової продуктивності гвинтово-еліпсного очисника були визначені верхня та нижня межі кутової швидкості обертання еліпсних вальців, відповідно 15,0...17,0 і 10,3...12,5 рад/с для усередненого діаметра еліпсних вальців 0,18 м при значенні коефіцієнта сепарації вороху 0,3 і 0,5.

$$\omega_{в.макс} \leq \frac{4[V_{дон.макс} - (V_c - V_z) \cos \beta \sin(45^\circ - 0,5\varphi_k)]}{\sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2} \sin[(45^\circ - 0,5\varphi_k) + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}]}; \quad (1.9)$$

$$\omega_{в.мін} = \frac{Q'_3 k_{сеп.в}}{0,08 k_{з.о.макс}^2 \left(\left\{ R_k^2 \left[\pi \arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} / 90 \right] - \sin 2 \left[\arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} \right] \right\} T k_{V_o} k_p^2 \right)}. \quad (1.10)$$

У наведених КОС є всі ті суттєві недоліки та відповідні позитивні характеристики, які супроводжують технологічний процес роботи елеваторних і шнекових ОРО.

На основі проведеного аналізу конструктивно-технологічних особливостей наведених ОРО і їх КОС, можна стверджувати, що наявні конструктивні та технологічні суттєві недоліки роботи кожного типу ОРО та їх сукупність: пошкодження та втрати коренеплодів; незадовільне відокремлення домішок від коренеплодів і особливо налиплого ґрунту на їх поверхні у важких умовах збирання, окрім КОС, яку наведено на рис. 1.19, в); конструктивна складність, динамічні навантаження на опори валів тощо – значно обмежують їх застосування для очищення вороху коренеплодів.

Залежно від конкретних функцій сепаруючих пристроїв, умов роботи, а також для регулювання ступеня агресивної дії очисних поверхонь на коренеплоди рядом авторів пропонуються КОС вороху буряків. У наукових працях [36, 97, 109], М.О. Гандзюка [35], А.Ю. Виговського [99] запропоновано КОС вороху, які є поєднанням елеваторного ОРО та відповідного шнека з різними комбінаціями циліндричних вальців (рис. 1.20).

Конструктивна схожість наведених КОС полягає у розташуванні над

горизонтальним прутковим транспортером 1 із деяким зазором відносно його робочої гілки відвідного шнека 2. Відмінними ознаками є встановлення за шнеком або відбійного циліндричного валика 3 (рис. 1.20, б) [143], або циліндричних відминальних вальців 4 для видалення залишків гички на головках корене-плодів (рис. 1.20, в) [43], або відсутність останніх (рис. 1.20, в) [42], встанов-лених також із зазором відносно до робочої гілки транспортера 1.

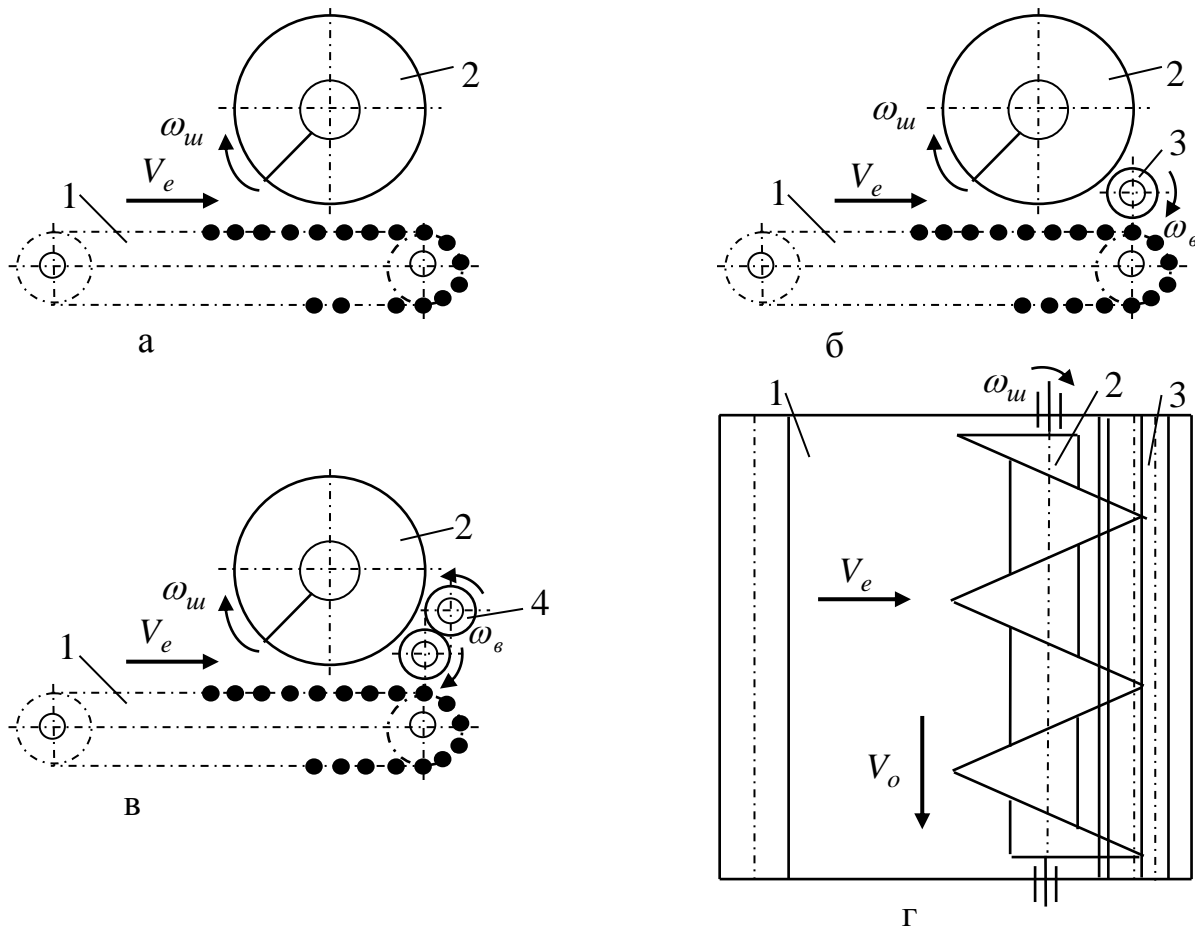


Рис. 1.20. Конструктивні схеми КОС (елеватор-шнек-циліндричні вальці): 1 – елеватор; 2 – шнек; 3, 4 – циліндричні вальці

У праці [36] на основі дослідження технологічного процесу руху вороху по робочих поверхнях очисника була виведена залежність для визначення продуктивності його роботи:

$$Q_3 \leq Q_o = \frac{\pi(D_{26}^2 - d_6^2) + 4(D_{26} + H_1)^2 - 4H_1^2}{16\pi k_{сен.мп}} T \omega_{26} k_6 k_{3.0.макс} k_{V_0} \cdot \quad (1.11)$$

Було встановлено, що залежно від кількості матеріалу, який поступає із

викопувальних робочих органів КМ до очисника та коефіцієнта сепарації вороху на шляху його переміщення продуктивність очисника знаходиться в межах 0,15...0,3 м³/с, а раціональні межі зміни кутової швидкості гвинта знаходяться у межах 9,0...15,7 (рад/с) залежно від конструктивно-кінематичних параметрів очисника.

У дисертаційній роботі М.О. Гандзюка [35] наведено теоретичне узагальнення шляхів покращення якості очищення цукрових буряків після основної сепарації вороху коренеплодів шляхом обґрунтування раціональних параметрів доочисного пристрою, виконаного також на базі горизонтального пруткового транспортера та відповідного шнека. На основі проведених лабораторних досліджень встановлено, що модуль пружності тіла цукрового буряка при повздовжньому розрізі становить 8 МПа, а при поперечному розрізі 10 МПа. Коефіцієнт Пуассона матеріалу коренеплоду становить 0,38...0,42.

А.Ю. Виговським [99] наведено узагальнюючі теоретичні положення, які характеризують прогнозовану ймовірну масу налиплого ґрунту на поверхні тіл коренеплодів до їх викопування залежно від їх розмірних агрофізичних характеристик і фізичного стану ґрунту:

$$m_{ep} = \frac{\pi \rho_{ep} \delta D_k L_k k_{H_1 L_k}^2}{12 k_{W\gamma} (1 - 0,5 k_{D_k L_k})}, \quad (1.12)$$

де ρ_{ep} – питома маса налиплого ґрунту (г/см³); $k_{W\gamma}$ – коефіцієнт вологості ґрунту; D_k – діаметр коренеплоду, см; L_k – загальна довжина коренеплоду; $k_{H_1 L_k}$, $k_{L_k D_k}$ – коефіцієнти, які характеризують відношення глибини залягання коренеплоду у ґрунті до D_k ; відношення D_k до L_k ; δ – товщина шару налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду, см;

Запропоновані КОС, через їх конструктивні недосконалості мають один суттєвий недолік – практично повна відсутність очищення налиплого ґрунту з поверхні тіла викопаних коренеплодів і незадовільне відокремлення вільних рослинних домішок із складу поступаючого вороху у бокових крайніх зонах

розміщення шнеків. Але конструктивні та технологічні переваги цих КОС, основними з яких є простота конструкції та значний ресурс роботи шнека і елеватора, задовільні показники якості роботи у важких ґрунтово-кліматичних умовах збирання [34, 105, 110, 111, 112, 113], є передумовою стверджувати, що подальше удосконалення конструктивно-технологічних ознак функціонування даних КОС [114, 115] призведе до значного покращення основних показників якості відокремлення домішок від коренеплодів.

Із проведеного аналізу досліджень і огляду конструкцій очисних робочих органів встановлено, що проблема додаткової сепарації коренеплодів є актуальною і дедалі частіше у конструкціях вітчизняних і зарубіжних машин застосовуються такі доочисні робочі органи. При цьому переважна більшість конструкцій доочисників ефективно відсепаровує лише вільні ґрунтові домішки, тоді як рослинні рештки практично не відділяються з вороху коренеплодів. Тому перспективним напрямком є вдосконалення комбінованих очисних робочих органів, які забезпечать одночасне відокремлення від коренеплодів вільного та налиплого ґрунту, рослинних решток при їх мінімальних пошкодженнях.

Пошук, проведений нами, привів до створення КОС [116, 117], конструктивно-технологічну схему якої наведено на рис. 1.21. Наукова гіпотеза базується на тому, що використання даної КОС передбачає ефективну роботу КМ не тільки в оптимальних умовах збирання коренеплодів, але і в екстремальних – на важких ґрунтах і при підвищеній вологості ґрунту.

Очисна система вороху коренеплодів складається з подавального пруткового транспортера 1, над прутками 2 якого на деякій відстані від транспортера 1 встановлено шнек 3. Шнек 3 обертається назустріч руху подавального транспортера 1 з кутовою швидкістю ω . За шнеком 3, в сторону вихідного кінця подавального транспортера 1, розташована пара приводних вальців 4, встановлених один над одним і над подавальним транспортером 1 на деякій відстані від нього, які обертаються назустріч один одному з кутовою швидкістю ω_1 . На трубі 5 шнека 3 змонтовано очисні пружні елементи 6, які набрані із пучків ворсу 7. З бокової вихідної вивантажувальної зони шнека 3 під кутом до

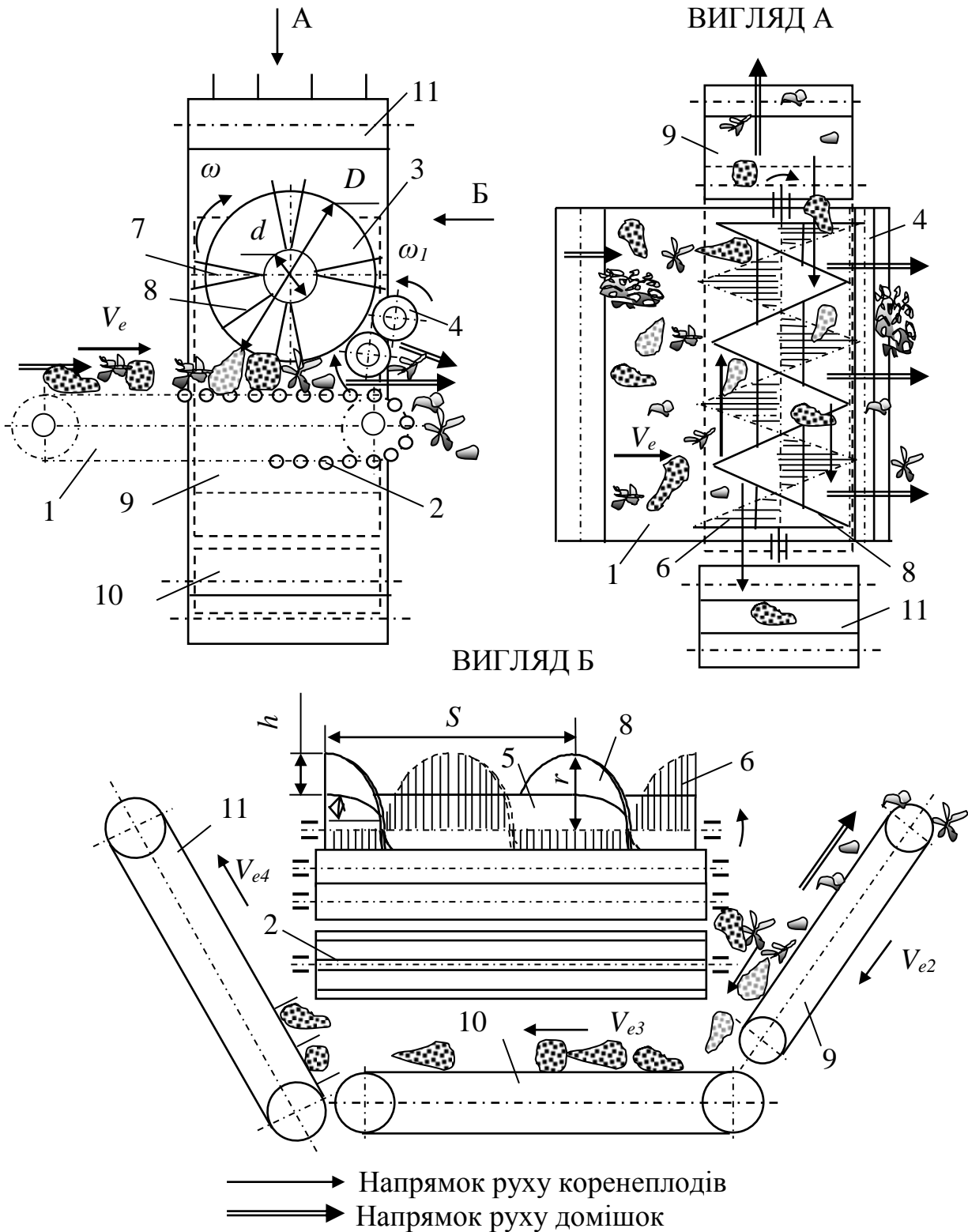


Рис. 1.21. Конструктивно-технологічна схема КОС:

- 1 – подавальний транспортер; 2 – пруток транспортера; 3 – шнек;
 4 – відминальні вальці; 5 – труба шнека; 6 – пружні очисні елементи; 7 – пучки ворсу; 8 – виток шнека; 9 – очисна пальчикова гірка; 10, 11 – поперечний прутковий та вивантажувальний транспортери

горизонту встановлено очисну пальчикову гірку 9, за нижнім сходом якої й під завантажувальним транспортером 1 розташовані послідовно поперечний прутковий 10 та вивантажувальний 11 транспортери.

Очисна система вороху коренеплодів працює наступним чином.

При подачі вороху до шнека 3, складовими компонентами якого є коренеплоди з залишками гички на них і без неї, ґрунтові і рослинні домішки та інші інеродні тіла, відбувається заповнення простору між витками 8 шнека 3 та простору між шнеком 3 і подавальним транспортером 1. Спіральні витки 8 шнека 3, взаємодіючи з коренеплодами, пересувають їх в сторону, тобто знімають їх з подавального транспортера 1, при цьому спостерігаються випадки співудару коренеплодів буряків і грудок землі з гвинтовою поверхнею шнека 3. Грудки землі руйнуються і вся сипуча земля і дрібні рослинні домішки просіюються в отвір між прутками 2 подавального транспортера 1, або сходять з нього, проходячи через отвір між шнеком 3 і робочою поверхнею подавального транспортера 1. Коренеплоди без гички і з її залишками на них, а також домішки переміщуються спіральними витками 8 шнека 3 уздовж осей обертання шнека 3 і приводних вальців 4. Зазнаючи підпирання з боку вороху, що знову поступає, і в міру пересування його до приводних вальців 4, відбувається затягування залишків гички на головках коренеплодів і рослинних домішок між поверхнями приводних вальців 4 в силу їх зустрічного напрямку обертання. Пройдені між приводними вальцями 4 рослинні домішки поступають на вихідний кінець подавального транспортера 1. Залишки гички на коренеплодах, зазнаючи подвійної дії зусиль втягування приводними вальцями 4 і переміщення коренеплодів спіральними витками 8 шнека 3 вздовж його вісі обертання, відділяються методом відминання і як усі інші домішки виносяться подавальним транспортером 1 за його межі. Крім того, очисні пружні елементи 6 пучків ворсу 7 взаємодіють на тіло коренеплодів, очищаючи при цьому їх поверхню від налиплого ґрунту. Очищений частково ворох коренеплодів витками 8 шнека 3 переміщується в напрямку бокової вивантажувальної зони та за рахунок вільного падіння надходить далі на робочу гілку пальчикової

гірки 9, на якій відбувається додаткове відокремлення домішок від коренеплодів, при цьому вільні ґрунтови та рослинні домішки виносяться робочою гілкою очисної гірки 9 за її межі, а очищені коренеплоди скочуються вниз на поперечний прутковий транспортер 10, який переміщує їх на вивантажувальний транспортер 11. Крім того, під час руху вороху на транспортерах 10, 11 відбувається остаточне кінцеве очищення коренеплодів від залишкового вільного ґрунту та рослинних домішок за рахунок їх просіювання крізь зазори між прутками транспортерів 10, 11.

Таким чином, покращення якості роботи КМ досягається інтенсифікацією дії на ворох і реалізацією на операції його очищення принципу додаткової динамічної дії на елементи вороху очисних пружних елементів, які закріплені на трубі барабана шнека, та встановленням очисної пальчикової гірки.

Методи розрахунку впливу параметрів робочих органів подібних КОС на основні агротехнічні показники якості їх роботи були наведені в наукових працях [102, 100, 101], проте, аналіз відомих праць показав, що у повному обсязі результатами і методами розрахунку скористатися неможливо, тому що запропонована нами КОС [59, 118] має ряд специфічних конструктивних особливостей.

Перш за все, обґрунтування основних параметрів робочого органу КОС повинно бути виконано на основі дослідження процесу взаємодії коренеплоду з витком шнека на основі встановлення закономірностей співудару коренеплодів з робочими поверхнями очисника з врахуванням ступеня пошкодження кормових буряків.

Даний зв'язок може бути встановлений на основі побудови залежності, яка характеризує технологічну взаємодію коренеплодів у момент їх контакту з витком шнека шляхом обґрунтування та дослідження коефіцієнта кінематичної взаємодії, визначення його фізичної суті та функціональної залежності його зміни від основних конструктивно-кінематичних параметрів очисника з врахуванням допустимої швидкості співудару.

Відома залежність (1.12) та результати характеризують масу налиплого

грунту на поверхні тіла коренеплоду, просторова форма якого є геометричною фігурою, утвореною у вигляді правильного конуса (тіло коренеплоду) та півсфери (головка коренеплоду), що, на наш погляд, не у повному обсязі характеризує параметр оптимізації реальних інших просторових форм коренеплодів кормових буряків, у яких, як правило, головка коренеплоду є зрізаною півкулею, а тіло коренеплоду може мати вигляд конуса, циліндра або їх комбінації.

Також, залежність (1.12), яка характеризує прогнозовану масу налиплого грунту на поверхні тіл коренеплодів, не в повному обсязі розкриває фізичну та технологічну сутність кількості налиплого грунту на поверхні тіла коренеплодів – на наш погляд дана залежність описує процес статичного стану коренеплодів та не враховує процес їх викопування, після якого частина налиплого грунту буде відокремлюватися від поверхні тіла.

Крім того, на наш погляд, введення поправочного коефіцієнта вологості грунту $k_{W\gamma}$ є не що інше, як подвійне врахування впливу вологості грунту на масу налиплого грунту m_{zp} , адже у даній моделі присутня питома маса грунту ρ_{zp} , діапазон зміни числового значення якої залежить безпосередньо від зміни вологості грунту та його структури.

Теоретичні й експериментальні дослідження процесу відокремлення маси налиплого грунту на поверхні тіла коренеплодів, процесу видалення залишків гички відминальними вальцями і кінематично-динамічний процес переходу вороху коренеплодів з шнека на пальчикову гірку в наукових працях відсутні, що і обумовило проведення подальших наукових досліджень конструктивно-кінематичних параметрів запропонованої КОС.

Тому методи розрахунку впливу конструктивно-кінематичних параметрів очисника на основні показники процесу відокремлення домішок від коренеплодів повинні мати інший підхід.

Базовими елементами, які регламентують визначення конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів КОС, повинні бути теоретичні

обґрунтування основних конструктивно-кінематичних параметрів КОС на основі побудови математичних моделей, які характеризують:

- кінематично-динамічні процеси взаємодії робочих поверхонь шнека з налиплим ґрунтом на поверхні коренеплодів і безпосередньо з самими коренеплодами;

- процес відминання залишків гички на головках коренеплодів і встановлення раціональних параметрів відминальних вальців;

- експериментальні дослідження показників якості виконання технологічного процесу відокремлення домішок від коренеплодів залежно від зміни основних конструктивно-кінематичних параметрів КОС.

1.4. Висновки та задачі досліджень

На основі проведеного аналізу конструктивно-функціональних особливостей і технологічних процесів роботи КМ та їх основних ТТС – викопувальних і очисних робочих органів можна зробити наступні висновки:

1. Наявність різноманітних компоновальних схем КМ і створених конструкцій робочих органів їх ТТС потребує диференційованого підходу при виборі, розрахунку, проектуванні, дослідженні та впровадженні у виробництво нових розробок. Тому класифікований підхід із урахуванням особливостей робочих органів, схем їх компонок і способів функціонування забезпечить можливість подальшого проведення аналізу і синтезу необхідної конструктивно-технологічної схеми адаптованої КМ та її базових ТТС для конкретних умов експлуатації.

2. Шляхами вирішення радикальних напрямків підвищення технологічної і експлуатаційної ефективності роботи КМ необхідно надавати питанням подальшої інтенсифікації технологічних процесів роботи ОРО, які забезпечують сепарацію викопаного вороху коренеплодів із одночасним видаленням залишків гички на їх головках при мінімізованій кількості поданого на наступні ТТС КМ вільного і налиплого на тілі коренеплодів ґрунту.

Метою роботи є підвищення показників якості роботи КМ шляхом розробки конструкції та вибору раціональних параметрів КОС.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- на основі проведеного аналізу технологічних процесів збирання кормових буряків, конструктивно-компонувальних схем КМ і ОРО розробити конструктивно-технологічну схему КОС;

- уточнити залежність, яка характеризує зміну маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів після викопування залежно від їх розмірно-масових параметрів;

- розробити математичну модель обґрунтування параметрів процесу очищення вороху коренеплодів від домішок на основі кінематичного аналізу взаємодії коренеплодів з робочими поверхнями КОС;

- провести теоретичні дослідження взаємозв'язку коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплодів із робочими поверхнями шнека залежно від основних параметрів процесу;

- експериментально визначити відповідність і адекватність числової реалізації розроблених математичних моделей;

- провести порівняльні дослідження показників якості роботи КМ з КОС і базової машини та визначити економічну ефективність її застосування.

Об'єктом досліджень є технологічний процес сепарації коренеплодів КОС, ворох коренеплодів кормових буряків.

Предметом досліджень є маса налиплого ґрунту, конструктивно-кінематичні параметри та показники якості роботи КОС.

РОЗДІЛ 2**ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ****ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ****2.1. Уточнення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла
кормових буряків та поправочного коефіцієнта**

Особливе значення для удосконалення конструктивно-технологічного рівня і окремих робочих органів КМ необхідно надавати питанням загальних інженерно-технічних аспектів конструювання машин на основі більш глибокого аналізу врахування агробіологічних і фізико-механічних властивостей коренеплодів [5, 119]. Агробіологічні характеристики кормових буряків як елемента системи „машина-робочий орган-коренеплід” необхідно враховувати у вигляді сукупності різних механічних властивостей і параметрів, які є визначальними при сумарних можливих механічних діях на об’єкт обробки, їх допустимий рівень і діапазон конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів.

З точки зору синтезу робочих органів для очищення коренеплодів від домішок, а особливо очищення від налиплого на їх поверхні ґрунту, необхідно мати науковий погляд на такі характеристики фізичного стану коренеплоду, як можливість прогнозування маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду при його викопуванні залежно від його розмірних характеристик і фізичного стану ґрунту. Обґрунтування раціональних конструкцій очисних робочих органів і структури відповідних технологічно-компонувальних схем КМ [120] може бути виконано на основі математичного моделювання технологічного процесу очищення тіла коренеплоду від налиплого ґрунту з врахуванням множини зовнішніх умов, які характеризують безпосередньо масу налиплого ґрунту на поверхні тіл коренеплодів.

Прогнозування ймовірної маси налиплого ґрунту на поверхні тіл коренеплодів було досліджено у наукових працях [73, 99, 121, 123], при цьому було

одержано математичну модель (1.12), яка характеризує зміну маси налиплого ґрунту m_{zp} залежно від розмірних характеристик коренеплодів і фізичного стану ґрунту [99].

У даній моделі складова величина $k_{H_1L_k}$, або коефіцієнт співвідношення, який враховував глибину залягання коренеплодів у ґрунті H_1 відносно його загальної довжини L_k , був визначений як арифметичне відношення H_1 до L_k , тобто $k_{H_1L_k} = H_1 / L_k$, а m_{zp} була визначена як різниця об'ємів загального об'єму коренеплоду з налиплим ґрунтом і об'єму чистого коренеплоду. Крім того, на наш погляд, введення поправочного коефіцієнта вологості ґрунту $k_{W\gamma}$ є не що інше, як подвійне врахування впливу вологості ґрунту на масу налиплого ґрунту m_{zp} , адже у даній моделі є питома маса ґрунту ρ_{zp} , діапазон зміни числового значення якої залежить безпосередньо від зміни вологості ґрунту та його структури.

У цих працях [73, 99] просторова форма коренеплоду кормових буряків була формалізована у вигляді правильної конусної поверхні, яка є тілом коренеплоду, а головка коренеплоду формалізувалася у вигляді півсфери. На наш погляд, проведений аналіз праць щодо вивчення агробіологічних характеристик кормових буряків [5, 93, 113, 119] показав, що наявні сорти кормових буряків мають просторові форми, які характеризують тіло кормових буряків у вигляді складної просторової геометричної фігури, складовими частинами якої є головка 1 коренеплоду об'ємом V_{1c} і тіло 2 коренеплоду об'ємом V_{2k} (рис. 2.1, а), або коренеплід складається із головки 1, тіла коренеплоду 2 та хвостової частини 3 об'ємом V_{3x} (рис. 2.1, б), при цьому головка 1 коренеплоду завжди є зрізаною півкулею [123, 124].

При формалізації опису об'єкта дослідження для проведення конкретизованих аналітичних розрахунків і подальшого аналізу маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів основних сортів, які культивуються при вирощуванні кормових буряків, приймаємо базове припущення, що корене-

плід складається з тіла, головки та хвостової частини коренеплоду, при цьому накладаємо такі обмеження (рис. 2.1, а, б):

– головка коренеплоду має форму зрізаної півсфери, об'єм якої – V_{1c} , а площа бічної поверхні – S_{1c} , при цьому висота зрізаної півсфери дорівнює H_{1p} , а центр півсфери співпадає з центром основи конуса або циліндра;

– тіло коренеплоду має форму правильного конуса або циліндра, в основі яких лежить коло діаметром D_k , центр якого знаходиться у точці O , а їх об'єми та площі бічних поверхонь відповідно становлять V_{2k} , V_{2c} , S_{2k} , S_{2c} ;

– хвостова частина коренеплоду має форму правильного конуса, об'єм якого становить V_{3k} , а площа бічної поверхні – S_{3k} ;

– товщина шару налиплого ґрунту розподілена рівномірно (однаково) по всій бічній поверхні коренеплоду та дорівнює δ .

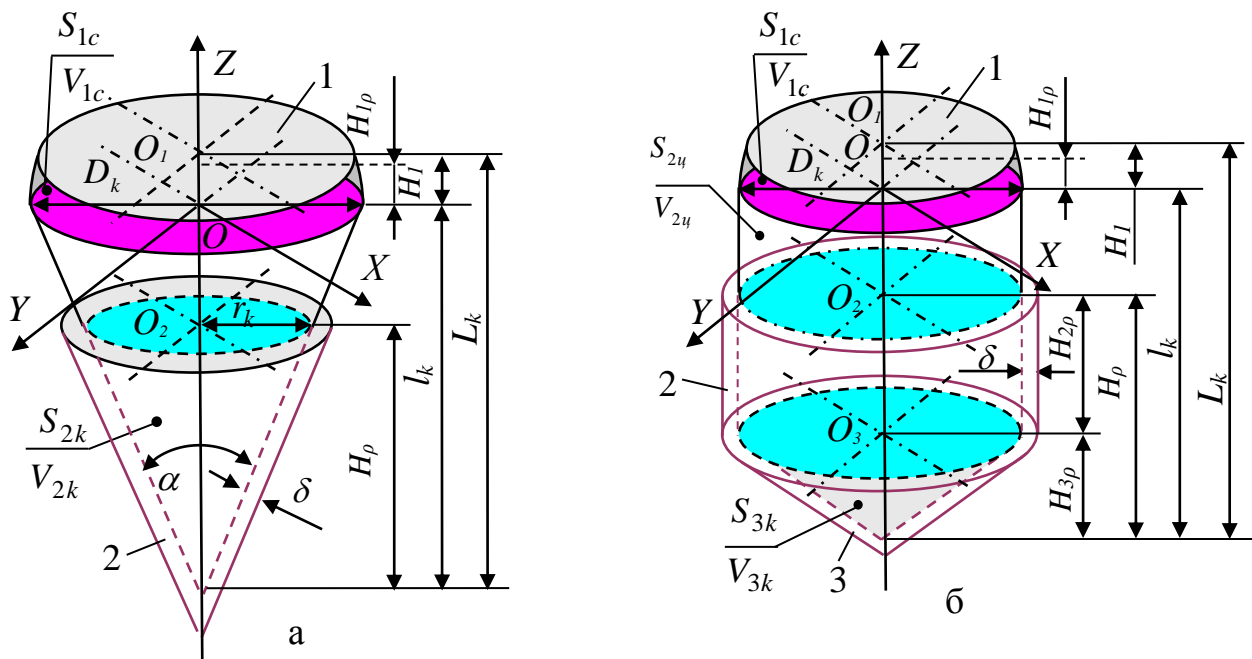


Рис. 2.1. Схема до визначення маси налиплого ґрунту на поверхні тіла формалізованих коренеплодів: а – конусної поверхні; б – циліндричної поверхні

Із врахуванням того, що кормові буряки залягають у ґрунті нерівномірно відносно рівня поверхні ґрунту та їх загальної довжини L_k [5, 6, 16, 41, 57, 111, 124], то налиплий ґрунт завжди буде знаходитися на бічній поверхні хвостової

частини S_{3k} , тіла коренеплодів S_{2k} або S_{2y} та головки коренеплодів S_{1c} .

У загальному випадку маса налиплого ґрунту m_ρ на поверхні тіла коренеплодів визначається за залежністю [125] у межах інтегрування від a до b :

$$m_\rho = V_\rho \rho = \pi \int_a^b \rho(Z) [f(Z)]^2 dZ, \quad (2.1)$$

де V_ρ – об'єм шару налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду, см^3 ;

ρ – питома маса ґрунту, г/см^3 .

Таким чином отримаємо можливі два загальні випадки аналізу m_ρ :

– коренеплід залягає у ґрунті на величину $1/3 \leq H_\rho \leq 2/3$ від загальної довжини коренеплоду L_k , що характерне більшості сортів кормових буряків;

– коренеплід залягає у ґрунті на величину $l_k + H_{1\rho}$, при цьому згідно з рис. 2.1 та залежності (2.1) маємо:

$$m_{1\rho} = V_m \rho, \quad (2.2)$$

$$m_{2\rho} = (V_x + V_m + V_z) \rho, \quad (2.3)$$

де V_x , V_m , V_z , – відповідно об'єм шару налиплого ґрунту на поверхні хвостової частини 3, тіла 2, головки 1 коренеплоду, см^3 .

Тоді в загальному випадку з врахуванням (2.1), (2.2), (2.3) та [125] маємо

$$m_\rho = \rho \sum_{i=1}^n V_i, \quad (2.4)$$

де $\sum_{i=1}^n V_i$ – сумарний об'єм налиплого ґрунту, см^3 .

Для встановлених формалізованих просторових форм тіла коренеплодів (рис. 2.1, а, б) та особливостей залягання коренеплодів у ґрунті (два випадки) m_ρ буде визначатися:

$$\left. \begin{aligned} m_{1a\rho} &= V_{2k\rho}\rho; & m_{2a\rho} &= (V_{2k\rho} + V_{1c\rho})\rho; \\ m_{1\bar{b}\rho} &= (V_{3k\rho} + V_{2u\rho})\rho; & m_{2\bar{b}\rho} &= (V_{3k\rho} + V_{2u\rho} + V_{1c\rho})\rho \end{aligned} \right\}, \quad (2.5)$$

де $m_{1a\rho}$, $m_{2a\rho}$, $m_{1\bar{b}\rho}$, $m_{2\bar{b}\rho}$ – відповідно маса налиплого ґрунту на поверхні тіла відповідних формалізованих форм тіла коренеплодів (рис. 2.1 а, б) у першому та другому випадках залягання коренеплодів у ґрунті, г;

$V_{2k\rho}$, $V_{1c\rho}$, $V_{2u\rho}$, $V_{3k\rho}$ – відповідно об'єм шару налиплого ґрунту i -ої складової частини коренеплоду, см³.

Об'єм шару налиплого ґрунту кожної i -ої складової частини коренеплоду визначимо як різницю сумарного об'єму коренеплоду з налиплим ґрунтом і об'єму “чистої” відповідної складової частини коренеплоду, тобто:

$$\left. \begin{aligned} V_{2k\rho} &= V_2 - V_{2k}; & V_{1c\rho} &= V_1 - V_{1c}; \\ V_{3k\rho} &= V_3 - V_{3k}; & V_{2u\rho} &= V_2 - V_{2u} \end{aligned} \right\}, \quad (2.6)$$

де V_1 , V_2 , V_3 – відповідний сумарний об'єм i -ої складової частини формалізованої форми коренеплоду з налиплим ґрунтом, см³;

V_{1c} , V_{2k} , V_{3k} , V_{2u} – відповідний об'єм i -ої складової частини формалізованої форми коренеплоду, см³.

Тоді враховуючи (2.1), (2.5) і (2.6) будемо мати:

$$\left. \begin{aligned} m_{1a\rho} &= \pi \int_a^b \rho(Z) \{ [f_2(Z)]^2 - [f_{2k}(Z)]^2 \} dZ; \\ m_{2a\rho} &= \pi \int_a^c \rho(Z) \{ [f_2'(Z)]^2 - [f_{2k}'(Z)]^2 \} dZ + \pi \int_c^d \rho(Z) \{ [f_1(Z)]^2 - [f_{1c}(Z)]^2 \} dZ; \\ m_{1\bar{b}\rho} &= \pi \int_a^b \rho(Z) \{ [f_3(Z)]^2 - [f_{3k}(Z)]^2 \} dZ + \pi \int_b^c \rho(Z) \{ [f_2(Z)]^2 - [f_{2u}(Z)]^2 \} dZ; \\ m_{2\bar{b}\rho} &= \pi \int_a^b \rho(Z) \{ [f_3(Z)]^2 - [f_{3k}(Z)]^2 \} dZ + \pi \int_b^c \rho(Z) \{ [f_2'(Z)]^2 - [f_{2u}'(Z)]^2 \} dZ + \\ &+ \pi \int_c^d \rho(Z) \{ [f_1(Z)]^2 + [f_{1c}(Z)]^2 \} dZ \end{aligned} \right\}. \quad (2.7)$$

Згідно з [124, 125] та реального припущення, що вершина хвостової частини тіла коренеплоду або вершини конуса не буде покрита шаром

налиплого ґрунту одержимо:

– для хвостової частини 3 коренеплоду (рис. 2.1, б) шукане рівняння прямої прямого кругового конуса

$$\left. \begin{aligned} X_3 &= kZ = (R_k + \delta)Z / (H_{3\rho} + \delta) = f_3(Z); \\ X_{3k} &= kZ = R_k Z / H_{3\rho} = f_{3k}(Z) \end{aligned} \right\}; \quad (2.8)$$

– для тіла 2 коренеплоду (рис. 2.1, а) відповідно

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= kZ = (r_k + \delta)Z / (H_\rho + \delta) = f_2(Z); \\ X_{2k} &= kZ = r_k Z / H_\rho = f_{2k}(Z); \\ X'_2 &= kZ = (R_k + \delta)Z / (l_k + \delta) = f'_2(Z); \\ X'_{2k} &= kZ = R_k Z / l_k = f'_{2k}(Z) \end{aligned} \right\}; \quad (2.9)$$

– для тіла 2 коренеплоду (рис. 2.1, б) шукане рівняння прямої прямого циліндра

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= \sqrt{3}kZ = \sqrt{3}(R_k + \delta)Z / (H_{2\rho}) = f_2(Z); \\ X_{2u} &= \sqrt{3}kZ = \sqrt{3}R_k Z / H_{2\rho} = f_{2u}(Z); \\ X'_2 &= \sqrt{3}kZ = \sqrt{3}(R_k + \delta)Z / (l_k - H_{3\rho}) = f'_2(Z); \\ X'_{2u} &= \sqrt{3}kZ = \sqrt{3}R_k Z / (l_k - H_{3\rho}) = f'_{2u}(Z) \end{aligned} \right\}; \quad (2.10)$$

– для головки 1 коренеплоду конусної і циліндричної форми (рис. 2.1 а, б) рівняння зрізаної півкулі запишеться:

$$\left. \begin{aligned} X^2 + Y^2 + Z^2 &= (R_k + \delta)^2; \\ X^2 + Y^2 + Z^2 &= R_k^2; \\ Y &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2.10')$$

звідки

$$\left. \begin{aligned} X^2 + Z^2 &= (R_k + \delta)^2; \quad X^2 = (R_k + \delta)^2 - Z^2 = [f_1(Z)]^2; \\ X^2 + Z^2 &= R_k^2; \quad X^2 = R_k^2 - Z^2 = [f_{1c}(Z)]^2 \end{aligned} \right\}, \quad (2.11)$$

де R_k – радіус головки коренеплоду, см;

r_k – радіус тіла коренеплоду із налиплим шаром ґрунту, см;

$H_{3\rho}$, H_ρ , $H_{2\rho}$ – відповідно висота шару налиплого ґрунту конкретної частини формалізованої форми тіла коренеплоду, см;

δ – товщина шару налиплого ґрунту, см.

Підставивши початкові умови (2.8-2.11) у рівняння (2.7), одержимо:

$$\left. \begin{aligned}
 m_{1a\rho} &= \pi\rho \int_{-l_k}^{-l_k+H_\rho} \left\{ \left[\frac{(r_k + \delta)}{H_\rho + \delta} \right]^2 - \left(\frac{r_k}{H_\rho} \right)^2 \right\} Z^2 dZ; \\
 m_{2a\rho} &= \pi\rho \left[\int_{-l_k}^0 \left\{ \left[\frac{(R_k + \delta)}{l_k + \delta} \right]^2 - \left(\frac{R_k}{l_k} \right)^2 \right\} Z^2 dZ + \right. \\
 &\quad \left. + \int_0^{H_{1\rho}} \left[(R_k + \delta)^2 - Z^2 - (R_k^2 - Z^2) \right] dZ; \right]
 \end{aligned} \right\}; \quad (2.12)$$

$$\left. \begin{aligned}
 m_{1b\rho} &= \pi\rho \left[\int_{-l_k}^{-l_k+H_{3\rho}} \left\{ \left[\frac{(R_k + \delta)}{H_{3\rho} + \delta} \right]^2 - \left(\frac{R_k}{H_{3\rho}} \right)^2 \right\} Z^2 dZ + \right. \\
 &\quad \left. + \int_{-l_k+H_{3\rho}}^{-l_k+H_\rho} \left[\frac{\sqrt{3}(R_k + \delta)}{H_{2\rho}} \right]^2 - \left(\frac{\sqrt{3}R_k}{H_{2\rho}} \right)^2 Z^2 dZ; \right] \\
 m_{2b\rho} &= \pi\rho \left[\int_{-l_k}^{-l_k+H_{3\rho}} \left\{ \left[\frac{(R_k + \delta)}{H_{3\rho} + \delta} \right]^2 - \left(\frac{R_k}{H_{3\rho}} \right)^2 \right\} Z^2 dZ + \right. \\
 &\quad \left. + \int_{-l_k+H_{3\rho}}^0 \left[\frac{\sqrt{3}(R_k + \delta)}{l_k - H_{3\rho}} \right]^2 - \left(\frac{\sqrt{3}R_k}{l_k - H_{3\rho}} \right)^2 Z^2 dZ + \right. \\
 &\quad \left. + \int_0^{H_{1\rho}} \left[(R_k + \delta)^2 - Z^2 - (R_k^2 - Z^2) \right] dZ \right]
 \end{aligned} \right\}; \quad (2.13)$$

$$\left. \begin{aligned} m_{1a\rho} &= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(r_k + \delta)}{H_\rho + \delta} \right]^2 - \left(\frac{r_k}{H_\rho} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \left| \begin{array}{c} H_\rho \\ 0 \end{array} \right. ; \\ m_{2a\rho} &= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(r_k + \delta)}{l_k + \delta} \right]^2 - \left(\frac{r_k}{l_k} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \left| \begin{array}{c} l_k \\ 0 \end{array} \right. + \delta(2R_k + \delta)Z \left| \begin{array}{c} H_{1\rho} \\ 0 \end{array} \right. \end{aligned} \right\}; \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} m_{1\delta\rho} &= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(R_k + \delta)}{H_{3\rho} + \delta} \right]^2 - \left(\frac{R_k}{H_{3\rho}} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \left| \begin{array}{c} H_{3\rho} \\ 0 \end{array} \right. + \\ &+ \left\{ \left[\frac{\sqrt{3}(R_k + \delta)}{H_{2\rho}} \right]^2 - \left(\frac{\sqrt{3}R_k}{H_{2\rho}} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \left| \begin{array}{c} H_{2\rho} \\ 0 \end{array} \right. \end{aligned} ; \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} m_{2\delta\rho} &= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(R_k + \delta)}{H_{3\rho} + \delta} \right]^2 - \left(\frac{R_k}{H_{3\rho}} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \left| \begin{array}{c} H_{3\rho} \\ 0 \end{array} \right. + \\ &+ \left\{ \left[\frac{\sqrt{3}(R_k + \delta)}{l_k - H_{3\rho}} \right]^2 - \left(\frac{\sqrt{3}R_k}{l_k - H_{3\rho}} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \left| \begin{array}{c} l_k - H_{3\rho} \\ 0 \end{array} \right. + \delta(2R_k + \delta)Z \left| \begin{array}{c} H_{1\rho} \\ 0 \end{array} \right. \end{aligned} , \quad (2.16)$$

де l_k – довжина тіла коренеплоду, см;

L_k – загальна довжина коренеплоду, см;

$H_{1\rho}$ – висота шару налиплого ґрунту на головці коренеплоду, см.

Після спрощення виразів (2.14-2.16), порядок перетворення яких наведено у додатку Б.1.1, та виразивши $R_k = 0,5D_k$, а неувяні характеристики коренеплоду r_k і l_k через уявні розмірні параметри кормових буряків, тобто

$$\frac{R_k}{r_k} = \frac{l_k}{H_\rho}; \quad r_k = \frac{R_k H_\rho}{l_k} = \frac{R_k H_\rho}{L_k - H_1}, \quad \text{або } r_k = H_\rho \operatorname{tg}(\alpha/2); \quad l_k = L_k - H_1, \quad (2.17)$$

одержимо залежності, які характеризують зміну маси налиплого ґрунту m_ρ на бічній поверхні просторових тіл коренеплодів до їх викопування залежно від їх агрофізичних параметрів у першому та другому випадках:

$$m_{1a\rho} = \pi\rho \left\{ \frac{H_\rho}{3(H_\rho + \delta)^2} \left[(0,5H_\rho \operatorname{tg} \alpha / 2 + \delta)^2 H_\rho^2 - 0,25H_\rho^2 \operatorname{tg}^2(\alpha/2)(H_\rho + \delta)^2 \right] \right\}; \quad (2.18)$$

$$m_{2a\rho} = \pi\rho \left\{ \frac{L_k - H_1}{3(L_k - H_1 + \delta)^2} \left[(0,5D_k + \delta)^2 (L_k - H_1)^2 - 0,25D_k^2 (L_k - H_1 + \delta)^2 \right] + \right. \\ \left. + \delta H_{1\rho} (D_k + \delta) \right\}; \quad (2.19)$$

$$m_{1b\rho} = \pi\rho \left\{ \frac{H_{3\rho}}{3(H_{3\rho} + \delta)^2} \left[(0,5D_k + \delta)^2 H_{3\rho}^2 - 0,25D_k^2 (H_{3\rho} + \delta)^2 \right] + \right. \\ \left. + \delta (D_k + \delta) H_{2\rho} \right\}; \quad (2.20)$$

$$m_{2b\rho} = \pi\rho \left\{ \frac{H_{3\rho}}{3(H_{3\rho} + \delta)^2} \left[(0,5D_k + \delta)^2 H_{3\rho}^2 - 0,25D_k^2 (H_{3\rho} + \delta)^2 \right] + \right. \\ \left. + \delta (D_k + \delta) (L_k - H_1 - H_{3\rho}) + \delta H_{1\rho} (D_k + \delta) \right\}; \quad (2.21)$$

де D_k – діаметр коренеплоду, см.

H_1 – висота головки коренеплоду, см.

α – кут конуса росту коренеплоду, град.

Позначимо $H_\rho / L_k = k_{2\rho}$, або $H_\rho = k_{2\rho} L_k$; $H_{1\rho} / L_k = k_{1\rho}$, або $H_{1\rho} = k_{1\rho} L_k$;

$H_{2\rho} / L_k = k_{2\rho}$, або $H_{2\rho} = k_{2\rho} L_k$; $H_{3\rho} / L_k = k_{3\rho}$, або $H_{3\rho} = k_{3\rho} L_k$.

Тоді

$$m_{1a\rho} = \pi\rho \left\{ \frac{L_k k_{2\rho}}{3(L_k k_{2\rho} + \delta)^2} \left[(0,5L_k k_{2\rho} \operatorname{tg} \alpha / 2 + \delta)^2 L_k^2 k_{2\rho}^2 - \right. \right. \\ \left. \left. - 0,25L_k^2 k_{2\rho}^2 \operatorname{tg}^2(\alpha/2)(L_k k_{2\rho} + \delta)^2 \right] \right\}; \quad (2.22)$$

$$m_{2a\rho} = \pi\rho \left\{ \frac{L_k - H_1}{3(L_k - H_1 + \delta)^2} \left[(0,5D_k + \delta)^2 (L_k - H_1)^2 - 0,25D_k^2 (L_k - H_1 + \delta)^2 \right] + \right. \\ \left. + \delta L_k k_{1\rho} (D_k + \delta) \right\}; \quad (2.23)$$

$$m_{1b\rho} = \pi\rho \left\{ \frac{L_k k_{3\rho}}{3(L_k k_{3\rho} + \delta)^2} \left[(0,5D_k + \delta)^2 L_k^2 k_{3\rho}^2 - 0,25D_k^2 (L_k k_{3\rho} + \delta)^2 \right] + \right. \\ \left. + \delta (D_k + \delta) L_k k_{2\rho} \right\}; \quad (2.24)$$

$$m_{2\delta\rho} = \pi\rho \left\{ \frac{L_k k_{3\rho}}{3(H_{3\rho} + \delta)^2} \left[(0,5D_k + \delta)^2 L_k^2 k_{3\rho}^2 - 0,25D_k^2 (L_k k_{3\rho} + \delta)^2 \right] + \right. \\ \left. + \delta(D_k + \delta)(L_k - H_1 - L_k k_{3\rho}) + \delta L_k k_{1\rho} (D_k + \delta) \right\}, \quad (2.25)$$

де $k_{1\rho}$, $k_{2\rho}$, $k_{3\rho}$ – коефіцієнти пропорційності відношення глибини залягання коренеплоду у ґрунті $H_{i\rho}$ до загальної довжини коренеплоду L_k .

Одержані моделі (2.22-2.25) характеризують «статичний стан» коренеплода до його викопування та є лише теоретичними, практична реалізація яких буде вносити певні арифметичні розрахункові неточності при визначенні реальної маси налиплого ґрунту m_ρ на поверхні тіла коренеплодів, яка буде змінюватися після переходу із «статичного стану» коренеплоду в «динамічний стан» у процесі їх викопування [6]. Ця закономірність підтверджується наступним практичним висновком: цілком нереально стверджувати, що після викопування коренеплодів вся бічна поверхня S_i i -ої частини коренеплодів буде покрита шаром налиплого ґрунту відносно «статичного стану». Тобто для практичного використання залежностей (2.22-2.25) необхідно врахувати поправочний коефіцієнт λ_S , за рахунок введення якого теоретичне значення m_ρ буде наближатися до реального значення «динамічного стану» коренеплоду.

Прийнявши, що $0 < k_{1\rho} \cong k_{2\rho} \cong k_{3\rho} \cong k_\rho \leq 1$, можна записати:

$$m_{1a\rho} = \pi\rho\lambda_S \left\{ \frac{L_k^3 k_\rho^3 (1 - 0,25 \operatorname{tg} \alpha / 2)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} \left[2L_k k_\rho \delta + \delta^2 (1 + 0,25 \operatorname{tg} \alpha / 2) \right] \right\}; \quad (2.26)$$

$$m_{2a\rho} = \pi\rho\lambda_S \left\{ (L_k - H_1) \left[\frac{(0,5D_k + \delta)^2 (L_k - H_1)^2}{3(L_k - H_1 + \delta)^2} - 0,25D_k^2 \right] + \delta L_k k_\rho (D_k + \delta) \right\}; \quad (2.27)$$

$$m_{1\delta\rho} = \pi\rho\lambda_S L_k k_\rho \delta \left[\frac{L_k^2 k_\rho^2 (D_k + \delta) - D_k^2 (0,5L_k k_\rho + \delta)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} + D_k + \delta \right]; \quad (2.28)$$

$$m_{2\delta\rho} = \pi\rho\lambda_S \delta \left\{ \frac{L_k k_\rho}{3(H_{3\rho} + \delta)^2} \left[L_k^2 k_\rho^2 (D_k + \delta) - D_k^2 (0,5L_k k_\rho + \delta) \right] + (D_k + \delta)(L_k - H_1) \right\}, \quad (2.29)$$

де λ_s – поправочний коефіцієнт, який враховує ступінь зниження m_ρ у процесі викопування коренеплодів.

Числове значення поправочного коефіцієнта λ_s буде визначене за результатами проведених експериментальних досліджень маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків (розділ 4.1.).

При початкових умовах для відповідних функціоналів (2.26), (2.28) $\rho = 1,5 \text{ кг/см}^3$; $L_k = 20,0 \text{ см}$; $D_k = 15,0 \text{ см}$; $\alpha = 15,0 \text{ град.}$; $H_1 = 5 \text{ см}$; $\delta = 0,5 \text{ см}$; $H_{3\rho} = 5 \text{ см}$ у середовищі “Mathcad” побудовано поверхню та її двомірний переріз теоретичної залежності зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплоду до його викопування у першому випадку залягання коренеплоду в ґрунті:

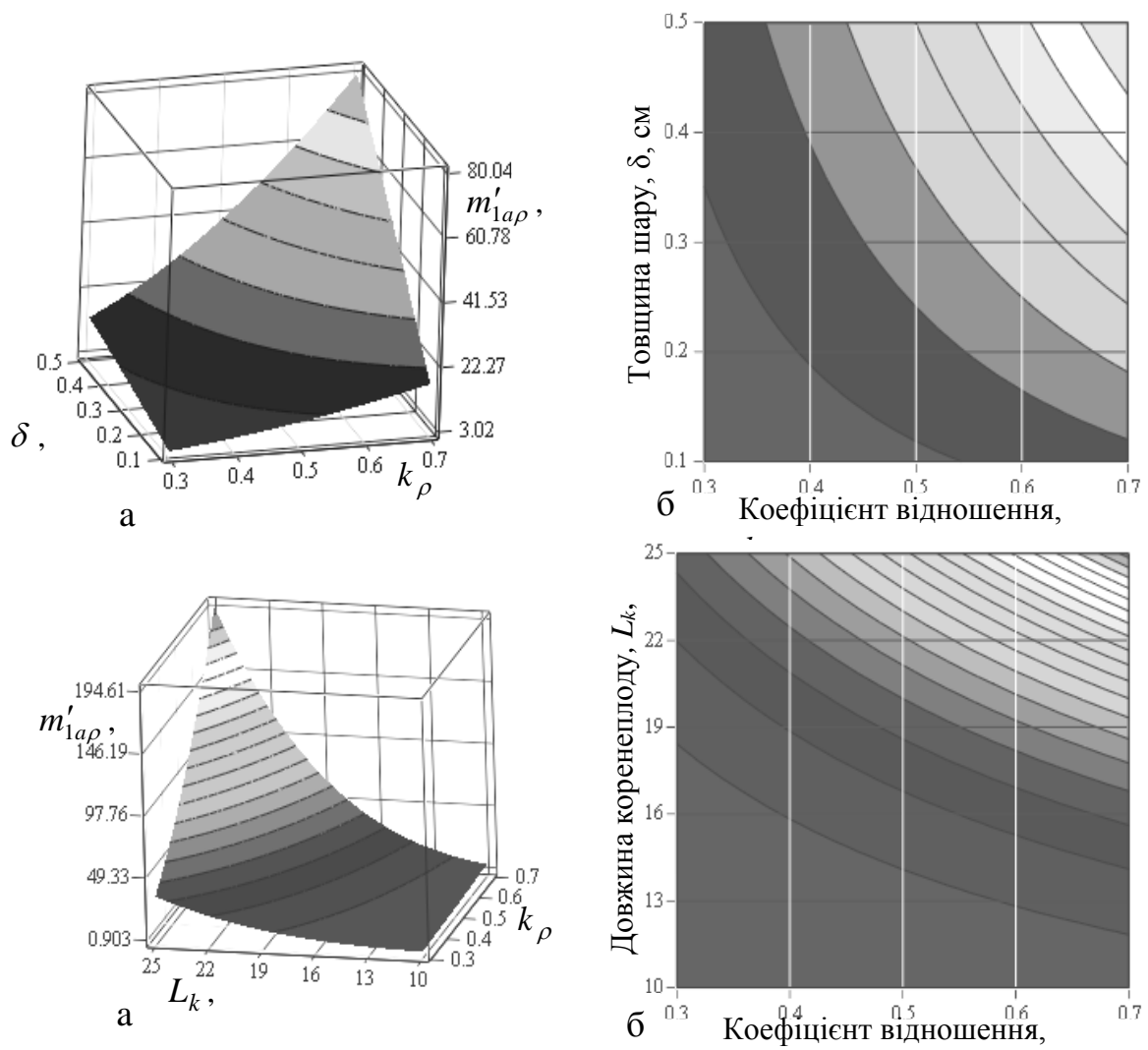


Рис. 2.2. Поверхня залежності (а) та її двомірний переріз (б) зміни маси налиплого ґрунту $m'_{1a\rho} = f(k_\rho, \delta)$ та $m'_{1a\rho} = f(k_\rho, L_k)$

– для коренеплодів конусної форми, як функції $m'_{1a\rho} = m_{1a\rho} / \lambda_S = f(\delta, k_\rho)$ та $m'_{1b\rho} = m_{1b\rho} / \lambda_S = f(k_\rho, L_k)$, (рис. 2.2), тобто зміну $m_{1a\rho} / \lambda_S$ залежно від товщини шару налиплого ґрунту δ і коефіцієнта залягання коренеплоду в ґрунті k_ρ та коефіцієнта залягання коренеплоду в ґрунті k_ρ і загальної довжини коренеплоду L_k ;

– для коренеплодів кормових буряків циліндричної форми, як функції $m'_{1a\rho} = m_{1a\rho} / \lambda_S = f(\delta, k_\rho)$ та $m'_{1b\rho} = m_{1b\rho} / \lambda_S = f(k_\rho, L_k)$, (рис. 2.3), тобто зміну $m_{1b\rho} / \lambda_S$

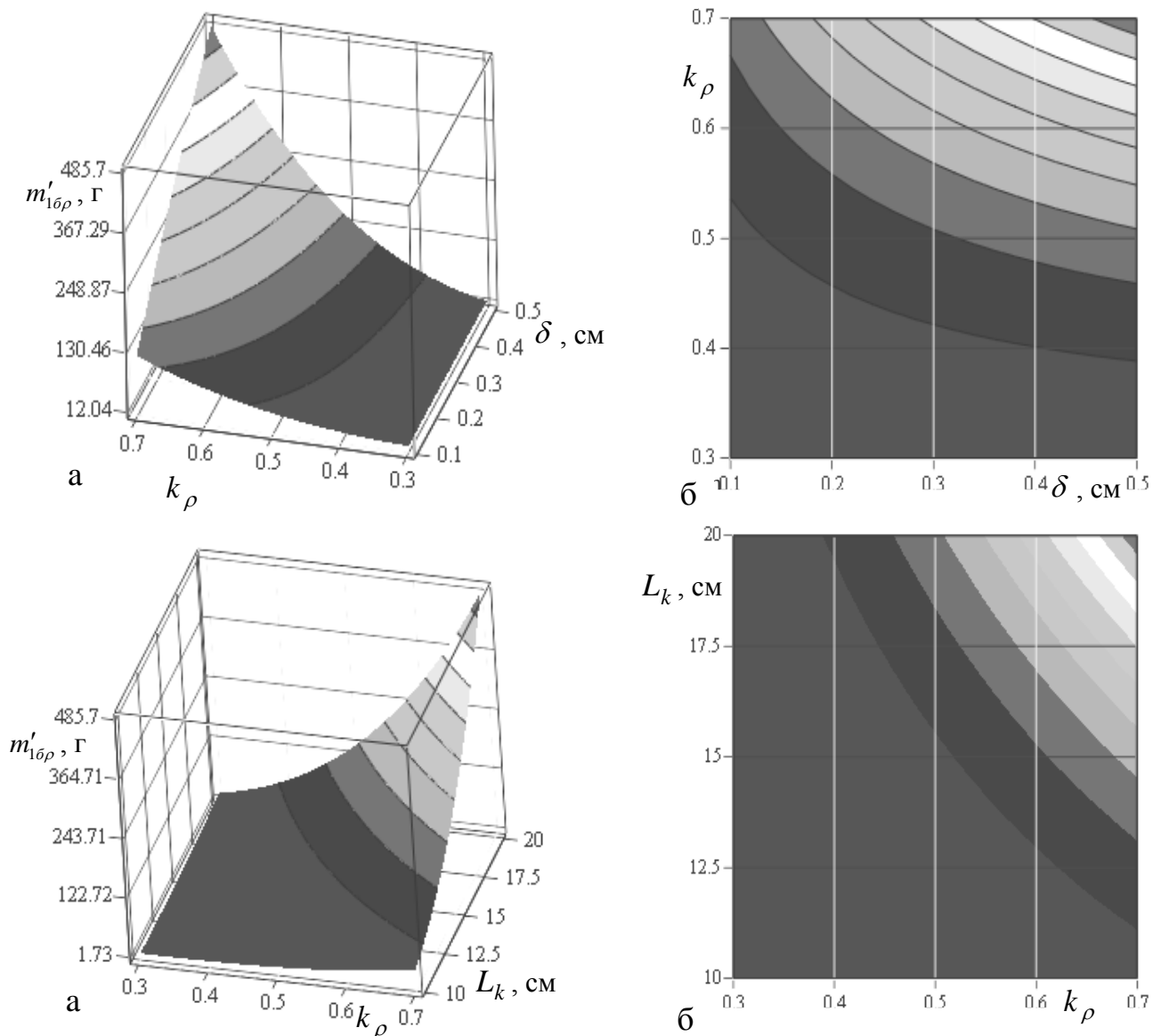


Рис. 2.3. Поверхня залежності (а) та її двовірний переріз (б) зміни маси

налиплого ґрунту $m'_{1b\rho} = f(k_\rho, \delta)$ та $m'_{1b\rho} = f(k_\rho, L_k)$

залежно від товщини шару налиплого ґрунту δ і коефіцієнта залягання коренеплоду в ґрунті k_ρ та коефіцієнта залягання коренеплоду в ґрунті k_ρ і

загальної довжини коренеплоду L_k .

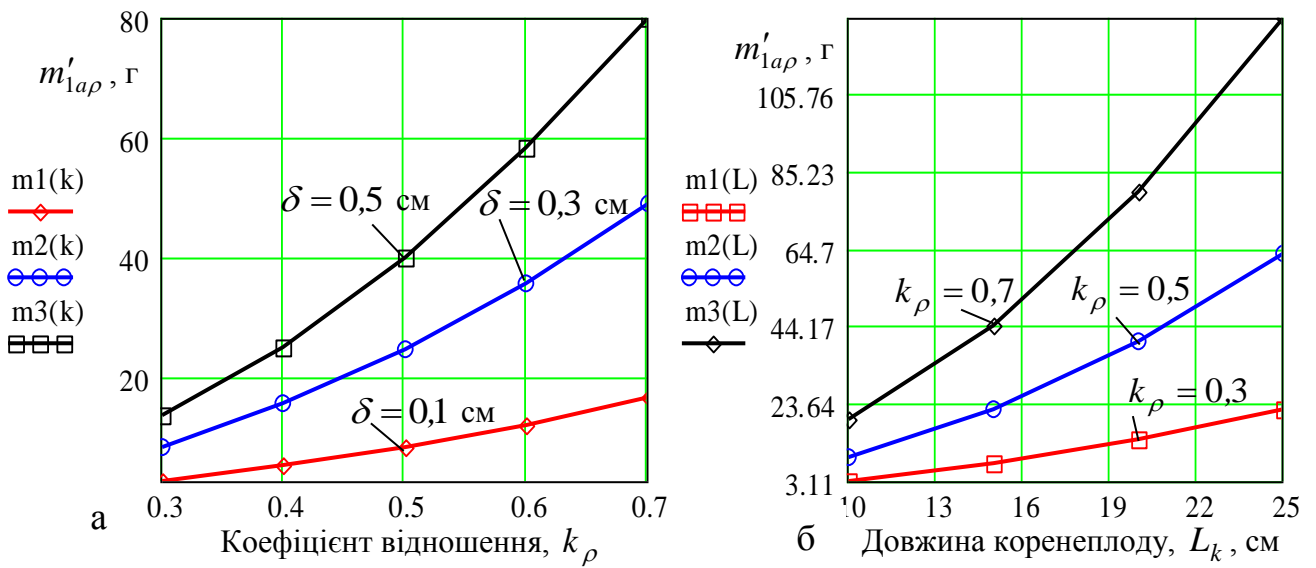


Рис. 2.4. Залежність зміни $m'_{1a\rho} = f(k_\rho)$ при $L_k = 20$ см

та $m'_{1a\rho} = f(L_k)$ при $\delta = 0,5$ см

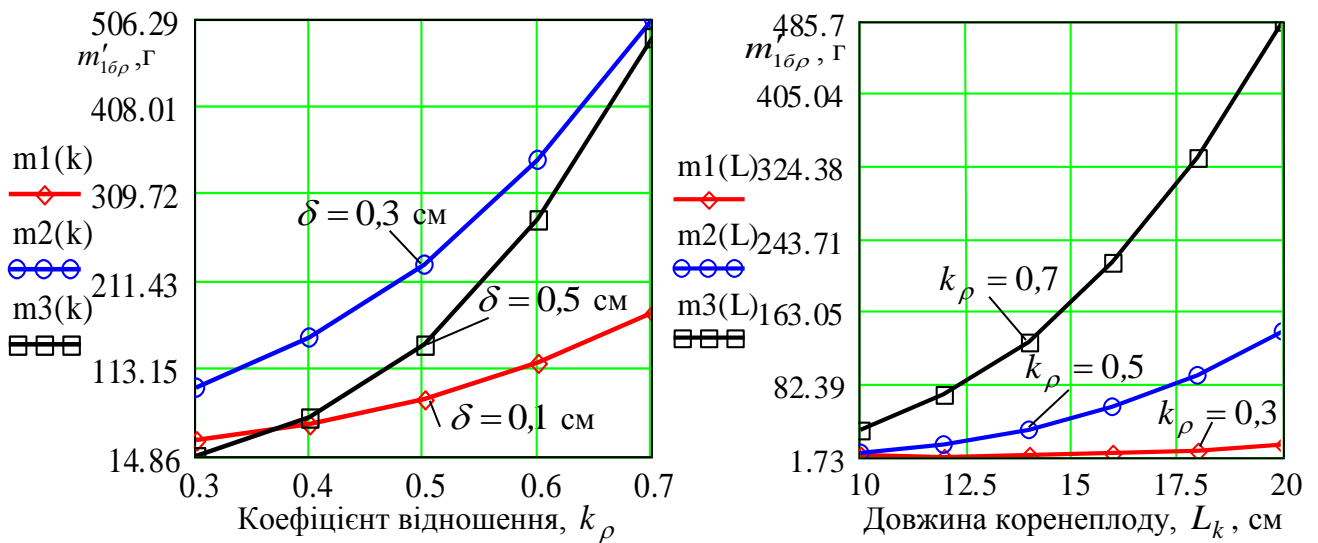


Рис. 2.5. Залежність зміни $m'_{1b\rho} = f(k_\rho)$ при $L_k = 20$ см

та $m'_{1b\rho} = f(L_k)$ при $\delta = 0,5$ см

На рис. 2.4, 2.5 наведено залежності зміни маси налиплого ґрунту $m_{1a\rho}$, $m_{1b\rho}$ на поверхні просторових форм тіла коренеплоду від коефіцієнта глибини залягання коренеплоду у ґрунті k_ρ та від довжини тіла коренеплоду L_k .

Аналіз наведених поверхонь та їх двомірних перерізів (рис. 2.2, 2.3) і залежностей зміни $m_{1a\rho} / \lambda_S$, $m_{1b\rho} / \lambda_S$ (рис. 2.4, 2.5) показує, що збільшення будь-якої складової рівнянь (2.26, 2.28) призводить до зростання маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду, а максимум наведених функцій, які регламентують зміну маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків до їх викопування $m_{1a\rho_{\max}}$, $m_{1b\rho_{\max}}$, досягається при наближенні $\delta \mapsto \max$, $k_\rho \mapsto \max$, $L_k \mapsto \max$ та ймовірно буде знаходитися у межах $m_{1a\rho_{\max}} \cong 80 \dots 125$ (г), $m_{1b\rho_{\max}} \cong 480 \dots 500$ (г). Із врахуванням поправочного коефіцієнта λ_S можна прогнозовано стверджувати, що значення цих показників після викопування коренеплодів будуть значно меншими.

2.2. Визначення коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека

Технологічна ефективність роботи будь-якої очисної системи у першу чергу регламентується основними показниками якості її роботи, критерії оцінки яких визначаються агротехнічними вимогами до процесу збирання коренеплодів. Головними критеріями, які характеризують технологічний процес сепарації викопаного вороху, є ступінь відокремлення домішок від коренеплодів і показник ступеня пошкоджень коренеплодів.

Для оцінки ступеня пошкоджень коренеплодів, максимальні значення яких можуть виникати у процесі їх взаємодії з робочими поверхнями шнека З КОС (див. рис. 1.21), доцільно ввести коефіцієнт технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека, який позначимо через K_T . Фізичну суть даного коефіцієнта у першому наближенні виразимо через відношення максимально допустимої швидкості $[V_{\max}]$ співудару коренеплоду з витком шнека [126, 127] до реальної сумарної швидкості V_{ck} удару в процесі роботи очисника, тобто

$$K_T = [V_{\max}] / V_{ck}, \quad (2.30)$$

де K_T – коефіцієнт технологічної взаємодії коренеплоду;

$[V_{max}]$ – максимально можлива допустима швидкість удару коренеплоду з витком шнека, м/с;

V_{ck} – сумарна швидкість удару коренеплоду, м/с.

Максимально допустима швидкість $[V_{max}]$ удару коренеплодів кормових буряків з робочими поверхнями обмежена конкретними числовими значеннями [36, 56, 98], при яких коренеплоди будуть отримувати пошкодження, які не перевищують встановлених меж допустимих слабо- та сильнопошкоджених коренеплодів згідно з агротехнічними вимогами [128, 129].

У цьому випадку сумарна швидкість удару V_{ck} коренеплоду з робочими поверхнями очисника повинна бути рівною або меншою $[V_{max}]$, тобто $V_{ck} \leq [V_{max}]$. Із накладених початкових умов процесу взаємодії коренеплоду з робочими поверхнями доочисника можна зробити загальний висновок, що ефективність роботи доочисника базується на умові $K_T \geq 1,0$, при відповідному значенні якого коренеплоди будуть отримувати пошкодження, що не перевищують встановлену межу згідно з агротехнічними вимогами, тобто

$$K_T = [V_{max}] / V_{ck} \geq 1. \quad (2.31)$$

Для визначення сумарної швидкості V_{ck} удару коренеплоду з робочими поверхнями доочисника розглянемо складену еквівалентну розрахункову схему, яку наведено на рис. 2.6.

У нашому випадку процес взаємодії коренеплоду 4 із витком 3 шнека 2 розглянемо в аспекті дії ударної сили на матеріальне тіло, масу якого позначимо m_k . Тому що пошкодження коренеплодів відбуваються внаслідок їх удару з робочими поверхнями шнека, проаналізуємо момент взаємодії коренеплоду з шнеком. Вважаємо, що коренеплід, формалізовану просторову форму якого уявимо у вигляді конічної та циліндричної поверхні, які характерні для більшості сортів кормових буряків [5], взаємодіє з поверхнею витка шнека у точці O , який обертається з частотою обертання n . Початкову

швидкість удару коренеплоду позначимо через V_e , значення якої відповідає швидкості руху пруткового елеватора 1. Точка удару O знаходиться на відстані R_y від осі обертання шнека O_1O_1 . Після удару коренеплід відбивається від поверхні витка шнека з кінцевою сумарною швидкістю V_{ck} та рухається в її напрямку. У даному випадку маємо косий удар двох тіл [130].

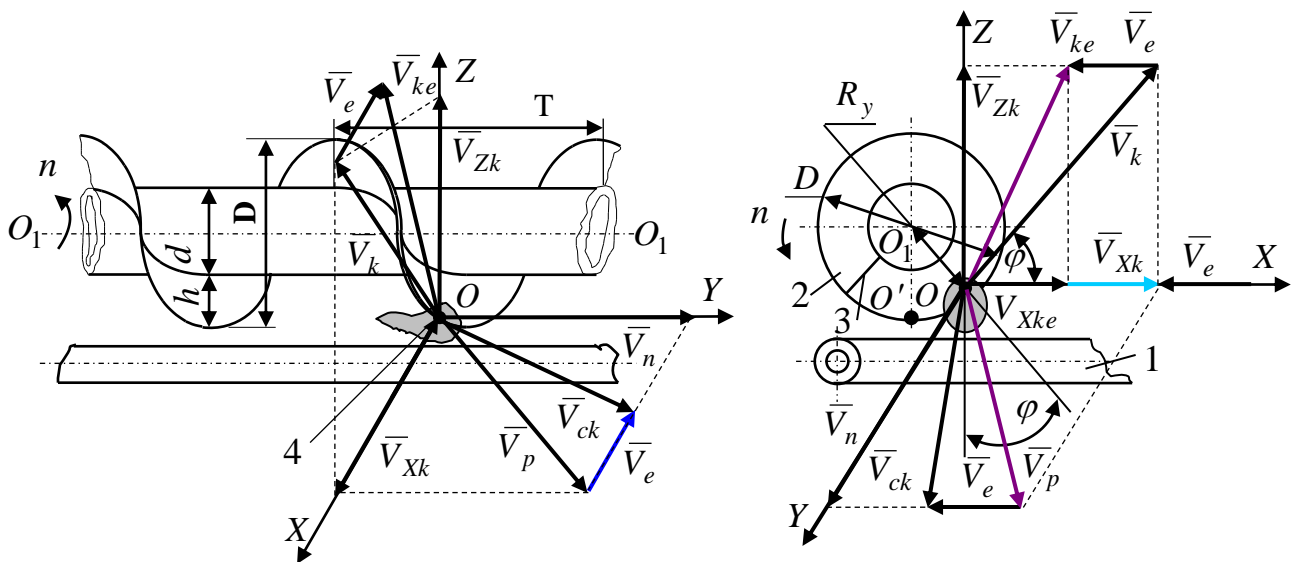


Рис. 2.6. Розрахункова схема удару коренеплоду з робочими поверхнями шнека: 1 – прутковий елеватор; 2 – шнек; 3 – виток шнека; 4 – коренеплід

У цьому випадку, розглядаючи рух твердого тіла по поверхні елеватора та його ударну взаємодію з витком шнека, приймаємо певні обмеження та припущення:

- явище удару є стрибкоподібним процесом, тривалість якого безкінцево мала;
- у момент удару абсолютні швидкості центрів тяжіння коренеплоду та шнека не лежать на одній прямій, яка з'єднує ці центри, тобто удар є косим;
- матеріал коренеплоду не є пружним, і нехтуємо силою опору повітря;
- коренеплоди розташовуються на елеваторі в один шар, що є необхідною умовою ефективності відокремлення домішок із вороху [4, 6, 131].

Для визначення сумарної швидкості удару V_{ck} коренеплоду з робочими поверхнями витка шнека початок просторової декартової системи координат

спроєктуємо у точку O контакту коренеплоду з витком (рис. 2.6). Напрямок координатних осей спроєктуємо наступним чином: вісь OZ направимо вгору в напрямку вектора колової швидкості шнека \bar{V}_k , вісь OY – у напрямку вектора швидкості \bar{V}_n осьового переміщення витків шнека, тобто переміщення матеріалу вороху або обертання осі шнека O_1O_1 , а вісь OX направимо паралельно руху вектора швидкості пруткового елеватора \bar{V}_e .

Спроєктувавши відповідні складові швидкостей шнека та пруткового елеватора на відповідні координатні осі OX , OY і OZ отримаємо проєкції їх векторів на дані осі координат і векторні значення результируючих швидкостей удару коренеплоду з робочою поверхнею шнека

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_X &= \bar{V}_{Xk} - \bar{V}_e = \bar{V}_k \cos \varphi - \bar{V}_e; \\ \bar{V}_Y &= \bar{V}_n; \\ \bar{V}_Z &= \bar{V}_{Zk} = \bar{V}_k \sin \varphi \end{aligned} \right\}, \quad (2.32)$$

де \bar{V}_k – вектор колової швидкості шнека;

\bar{V}_e , \bar{V}_n – відповідно вектор поступальної швидкості руху пруткового елеватора та швидкості переміщення коренеплоду вздовж осі обертання шнека;

φ – кут між вектором \bar{V}_k і віссю OX , рад;

\bar{V}_{Xk} , \bar{V}_{Zk} – проєкція вектора колової швидкості шнека на вісь OX , OZ .

Загальний випадок ударної взаємодії двох тіл характеризується зміною кутових і поступальних швидкостей руху тіл відносно координатних осей просторової системи $OXYZ$. При косому ударі виникають різні види фрикційної взаємодії та деформація стиснення тіла коренеплодів, які викликані дією, відповідно, тангенціального (дотичного) та нормального ударного імпульсу [79, 127, 130], при цьому результатом деформації стиснення є поява тріщин тіла коренеплоду, або його розколювання.

Зменшення нормального ударного імпульсу можливе за рахунок зменшення сумарної швидкості співудару V_{ck} , реалізація якого досягається за

рахунок зменшення нормальної складової сумарної швидкості V_{ck} або, як наслідок – за рахунок зменшення кута нахилу поверхні співудару.

У зв'язку з цим розглянемо план швидкостей косою удару коренеплоду та витка шнека в горизонтальній площині OXY (рис. 2.7), при цьому вважаємо, що швидкість руху до і після співудару змінюється тільки у коренеплоді.

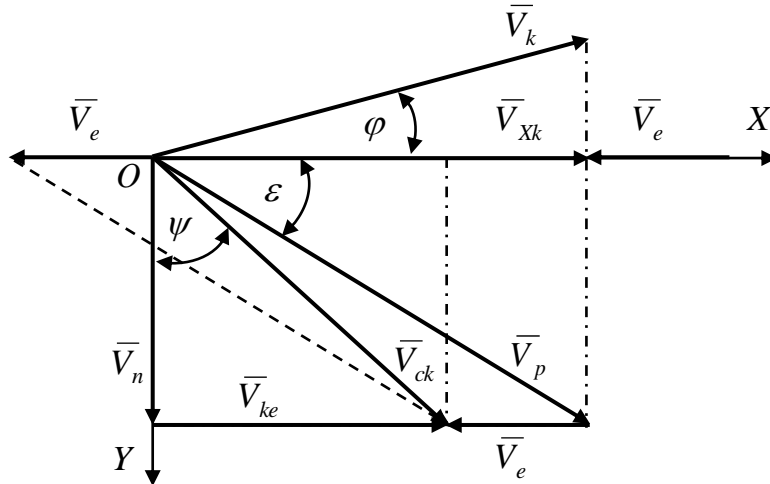


Рис. 2.7. Схема плану швидкостей косою співудару коренеплоду з витком шнека КОС

Із аналізу схеми плану швидкостей випливає:

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_{ke} &= \sqrt{\bar{V}_k^2 - \bar{V}_e^2}; \\ \bar{V}_p &= \sqrt{\bar{V}_{Xk}^2 + \bar{V}_n^2} = \sqrt{\bar{V}_k^2 \cos^2 \varphi + \bar{V}_n^2}; \\ \bar{V}_{ck} &= \sqrt{\bar{V}_{ke}^2 + \bar{V}_n^2} = \sqrt{(\bar{V}_k - \bar{V}_e)^2 + \bar{V}_n^2} \end{aligned} \right\}, \quad (2.33)$$

де \bar{V}_p – вектор результуючої швидкості шнека.

Згідно з відомими положеннями теоретичної механіки [132, 133] маємо:

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_k &= \frac{d\bar{R}_y}{dt} = \bar{\omega} \times \bar{R}_y; \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi} = 2\pi n; \\ V_n &= V_{nT} K_{Vn} = TnK_{Vn} = \frac{TK_{Vn}\omega}{2\pi}; \quad T = \pi D_y \operatorname{tg} \beta; \\ \bar{V}_e &= \frac{d\bar{r}_e}{dt} = \bar{\omega}_e \times \bar{r}_e; \quad \omega_e = \frac{d\varphi_e}{dt} = \dot{\varphi}_e = 2\pi n_e \end{aligned} \right\}, \quad (2.34)$$

де $\bar{\omega}$, ω – вектор кутової швидкості та кутова швидкість витка шнека, рад/с;

\bar{R}_y , \bar{r} – відповідно радіус-вектор точки удару та зірочки приводного вала елеватора;

V_n , V_{nT} – відповідно швидкість переміщення коренеплоду та теоретична швидкість переміщення витків шнека вздовж осі обертання шнека, м/с;

K_{Vn} – коефіцієнт, який враховує зниження V_n порівняно з V_{nT} ;

T – крок гвинтової лінії витка, м;

n , n_e – відповідно частота обертання шнека та приводного вала пруткового елеватора, об/с;

β – кут підйому гвинтової лінії в точці удару коренеплоду, град;

$\bar{\omega}_e$, ω_e – відповідно вектор кутової швидкості та кутова швидкість приводного вала елеватора, рад/с;

Підставивши відповідні значення рівнянь (2.34) у залежності (2.32) і (2.33), отримаємо векторне значення відповідних проекцій швидкостей:

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_X &= (\bar{\omega} \times \bar{R}_y) \cos \varphi - (\bar{\omega}_e \times \bar{r}_e); \\ \bar{V}_Z &= (\bar{\omega} \times \bar{R}_y) \sin \varphi \end{aligned} \right\}; \quad (2.35)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_{ke} &= \sqrt{(\bar{\omega} \times \bar{R}_y)^2 - (\bar{\omega}_e \times \bar{r}_e)^2}; \\ \bar{V}_p &= \sqrt{(\bar{\omega} \times \bar{R}_y)^2 \cos^2 \varphi + \bar{V}_n^2}; \\ \bar{V}_{ck} &= \sqrt{[(\bar{\omega} \times \bar{R}_y) \cos \varphi - (\bar{\omega}_e \times \bar{r}_e)]^2 + \bar{V}_n^2} \end{aligned} \right\}. \quad (2.36)$$

Запишемо скалярні значення відповідних складових величин швидкостей удару, враховуючи (2.34) та приймаючи значення $R_y = 0,5D$, $r_e = 0,5D_e$:

$$\left. \begin{aligned} V_k &= 0,5D \frac{d\varphi}{dt} = \pi D n; \\ V_n &= \frac{TK_{Vn}}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{DK_{Vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt}; \\ V_e &= 0,5D_e \frac{d\varphi_e}{dt} = \pi D_e n_e \end{aligned} \right\}, \quad (2.37)$$

де D , D_e – відповідно діаметр шнека та ведучої зірочки елеватора, м.

Після підстановки відповідних значень (2.34-2.36) у залежність (2.33) одержимо диференціальне рівняння скалярної сумарної швидкості V_{ck} удару коренеплоду з витком шнека [127],

$$V_{ck} = \frac{dl_k}{dt} = \sqrt{\left[\left(\frac{D \cos \varphi}{2} \frac{d\varphi}{dt} \right) - \left(\frac{D_e}{2} \frac{d\varphi_e}{dt} \right) \right]^2 + \left(\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt} \right)^2}, \quad (2.38)$$

або після спрощення залежності (3.38)

$$V_{ck} = \frac{1}{2} \sqrt{D^2 (\cos^2 \varphi + K_{vn}^2 \operatorname{tg}^2 \beta) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \left(D_e \frac{d\varphi_e}{dt} - 2D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} \right)}. \quad (2.39)$$

Тоді, враховуючи (2.32) і (2.39), можна записати, що

$$K_T = \frac{2[V_{max}]}{\sqrt{D^2 (\cos^2 \varphi + K_{vn}^2 \operatorname{tg}^2 \beta) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \left(D_e \frac{d\varphi_e}{dt} - 2D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} \right)}} \geq 1. \quad (2.40)$$

Одержане диференціальне рівняння характеризує ефективність роботи КОС, або залежність зміни коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду K_T з витком шнека від основних параметрів очисної системи.

Враховуючи (2.37), для практичного використання (2.40) можна записати:

$$K_T = \frac{[V_{max}]}{\pi \sqrt{D^2 n^2 (\cos^2 \varphi + K_{vn}^2 \operatorname{tg}^2 \beta) + D_e n_e (D_e n_e - D n \cos \varphi)}} \geq 1. \quad (2.41)$$

Згідно з результатами проведених досліджень [36, 56, 98] було встановлено, що максимально допустима швидкість одноразового співудару $[V_{max}]$ коренеплодів кормових буряків із металевою та металевою поверхнею покритою гумою товщиною 5 мм, становить відповідно 3,1 і 3,9 м/с, тобто в цих випадках ймовірні пошкодження коренеплодів не будуть перевищувати допустимі межі пошкоджень згідно з встановленими агротехнічними вимогами.

Крім того, також було встановлено [99, 107], що максимальна сепарація ґрунту прутковим елеватором спостерігається при зміні поступальної швидкості руху елеватора, яка знаходиться у межах $1,5 \leq V_e \leq 1,6$ (м/с). При збільшенні $V_e > 1,6$ м/с збільшення сепарації ґрунту практично не відбувається [107].

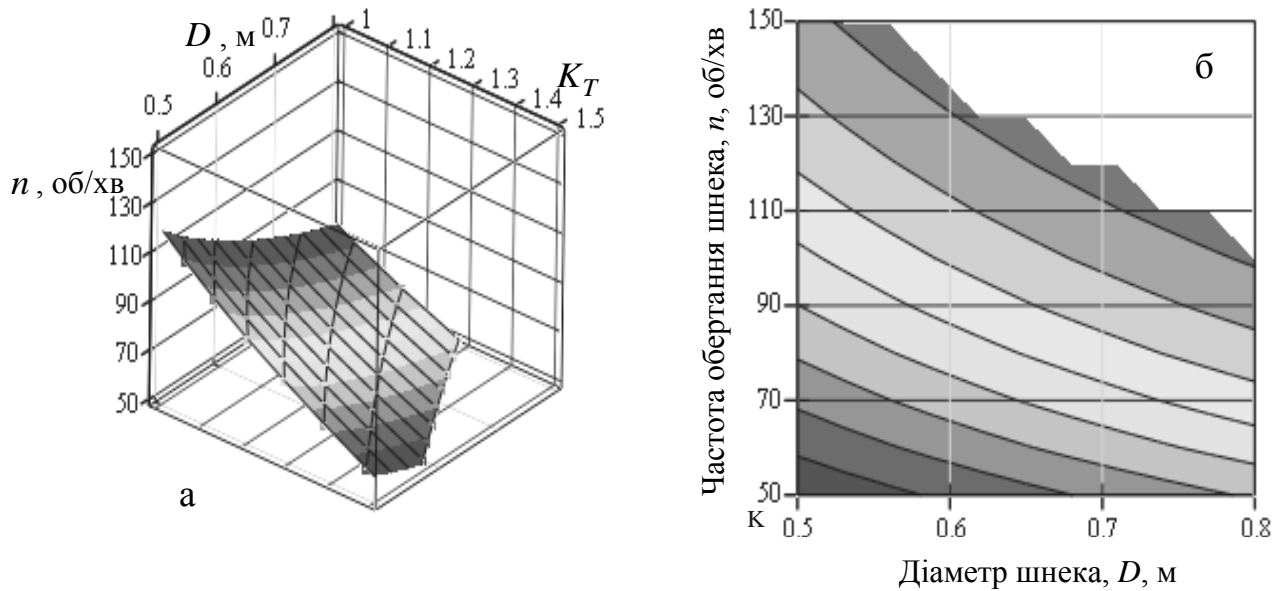


Рис. 2.8. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз (б) поверхні відгуку залежності $K_T = f(D, n) \geq 1,0$

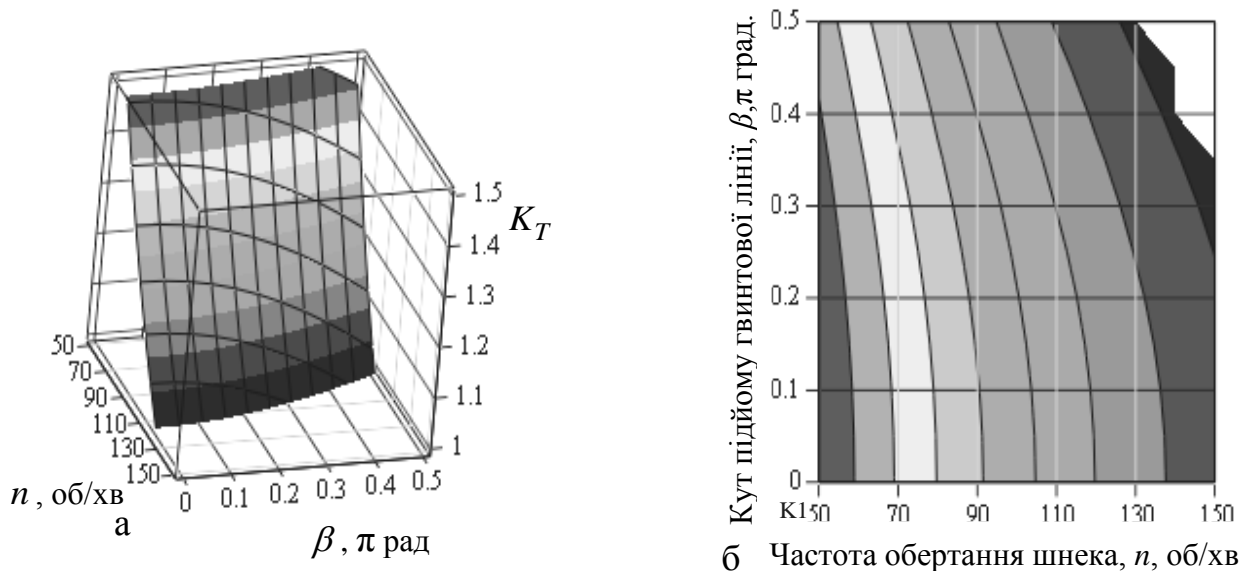


Рис. 2.9. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз (б) поверхні відгуку залежності $K_T = f(\beta, n) \geq 1,0$

При початкових умовах $[V_{max}] = 3,1$ м/с, $V_e = 1,6$ м/с, $\alpha = 45^\circ$, $K_{Vn} = 0,7$ побудовано поверхні відгуку та двомірні перерізи поверхонь відгуку залежності

зміни коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду $K_T \geq 1,0$: рис. 2.8 – від діаметра D та частоти обертання шнека n , тобто $K_T = f(D, n) \geq 1$; рис. 2.9 – від частоти обертання шнека n та кута підйому гвинтової лінії β , тобто $K_T = f(n, \beta) \geq 1,0$, зміна яких значно впливає на сумарне значення V_{ck} .

Аналіз наведених графічних залежностей, які побудовані згідно з формулою (2.41), показує, що встановлений критерій оптимізації $K_T \geq 1,0$ конструктивно-кінематичних параметрів очисника забезпечується при наступних співвідношеннях складових величин: рис. 2.8 – при зміні діаметра шнека у межах $0,5 \leq D \leq 0,8$ (м) частота обертання шнека очисника становить $65,0 \leq n \leq 115,0$ (об/хв) і значенні $\beta = 35^\circ$; рис. 2.9 – при зміні кута підйому гвинтової лінії, який відповідає куту нахилу поверхні удару коренеплоду в межах $0 \leq \beta < 90$ (град) частота обертання шнека буде змінюватися у межах $90,0 \leq n \leq 115,0$ (об/хв) і значенні $D = 0,6$ м, що також підтверджується графічними залежностями, які наведені на рис 2.10 а, б та додатку Б 2.2.

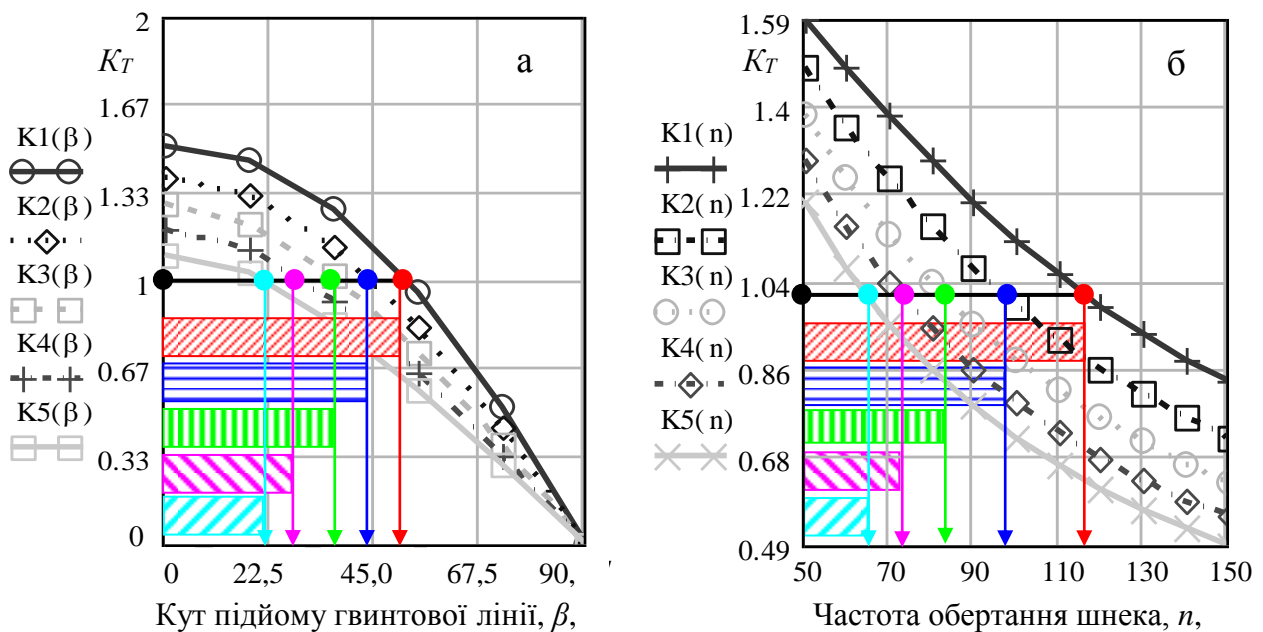


Рис. 2.10. Залежність коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду від: а – кута підйому гвинтової лінії β ; б – частоти обертання шнека n ;

$K1(\beta; n)$, $K2(\beta; n)$, $K3(\beta; n)$, $K4(\beta; n)$ і $K5(\beta; n)$ – відповідно для

$D = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$ і $0,9$ (м)

Таким чином, за результатами проведеного аналізу допустимої сумарної швидкості удару коренеплоду з робочими поверхнями шнека очисника можна стверджувати, що допустимі межі зміни комбінацій конструктивно-кінематичних параметрів доочисника у першому наближенні, які забезпечують умову $K_T \geq 1,0$, будуть становити: при значеннях діаметра шнека $D = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ (м) частота обертання шнека буде відповідно становити $n = 115,0; 95,0; 85,0; 75,0; 65,0$ (об/хв). При значеннях кута підйому гвинтової лінії $\beta = 0; 22,5; 27,5; 37,5; 45,0; 52,5$ (град) діаметр шнека, відповідно, буде становити $D = 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5$ (м) для значень $V_e = 1,6$ м/с, $n = 85$ об/хв., $K_{Vn} = 0,7$ (тихохідний режим роботи шнека) [134] та відповідному допустимому мінімальному значенні кута $\alpha = 30^\circ$, збільшення якого зменшує сумарну швидкість співудару V_{ck} , що адекватно збільшенню коефіцієнта технологічної взаємодії K_T (додаток Б 2.2).

Крім того, наведені графічні залежності (рис. 2.10, а) наочно підтверджують доцільність використання гвинтового конвеєра як робочого органу для сепарації домішок кормових буряків, при роботі якого значно зменшуються пошкодження коренеплодів за рахунок зменшення кута підйому гвинтової лінії, або використання ефекту косоного удару коренеплодів із поверхнею шнека. При цьому зі збільшенням кута підйому гвинтової лінії $\beta > 45^\circ$ спостерігається значне зменшення коефіцієнта K_T , тобто $K_T \ll 1,0$, що призводить до відповідного значного збільшення сумарної швидкості удару коренеплодів V_{ck} , або збільшення частки їх пошкоджень у процесі сепарації домішок очисником.

Аналіз схеми (рис. 2.7) показує, що після удару коренеплід відбивається від поверхні витка шнека з початковою сумарною швидкістю V_{ck} та рухається в напрямку її вектора \bar{V}_{ck} , проекція якої на горизонтальну площину OXY з вектором швидкості осьового переміщення витків шнека \bar{V}_n утворює кут ψ . При досягненні швидкості $V_{ck} = dl_k / dt = 0$ коренеплід подавальним транспортером знову рухається в напрямку шнека та знову зазнає ударної взаємодії.

У цьому випадку можна зробити висновок, що мінімальні пошкодження

коренеплодів і максимальна технологічність роботи КОС буде також за умови, коли кут $\psi \leq 0$, або коли коренеплоди будуть рухатися вздовж осі обертання шнека 3 або в напрямку до відминальних вальців 4 (рис. 1.22).

Згідно зі схемою (рис. 2.7) маємо:

$$\bar{V}_{ke} = \bar{V}_n + \bar{V}_{ck} + 2\bar{V}_n\bar{V}_{ck} \cos \psi, \quad (2.42)$$

де ψ – кут між проекцією вектора \bar{V}_{ck} на горизонтальну площину OXY з вектором швидкості осьового переміщення витків шнека \bar{V}_n , град.

Тоді, враховуючи (2.34) можна записати:

$$V_{ke}^2 = V_n^2 + V_{ck}^2 + 2V_n V_{ck} \cos \psi, \quad (2.43)$$

або

$$\left(\frac{dl_k}{dt}\right)^2 + 2\left(\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt}\right) \left(\frac{dl_k}{dt}\right) \cos \psi + \left(\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt}\right)^2 - \left(\frac{D \cos \varphi}{2} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{D_e}{2} \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2 = 0. \quad (2.44)$$

Позначивши у залежності (2.43) відповідні складові через: $\frac{dl_k}{dt} = x$;

$$DK_{vn} \operatorname{tg} \beta \cos \psi \frac{d\varphi}{dt} = p; \quad \left(\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt}\right)^2 - \left(\frac{D \cos \varphi}{2} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{D_e}{2} \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2 = q, \quad \text{одержимо}$$

приведене квадратне рівняння, рішення якого відносно x має вигляд:

$$\frac{dl_k}{dt} = -\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt}\right)^2 (\cos^2 \psi - 1) - \left(\frac{D \cos \varphi}{2} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{D_e}{2} \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2}, \quad (2.45)$$

при цьому два дійсні значення dl_k / dt будуть за умови

$$-\left(\frac{D \cos \varphi}{2} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{D_e}{2} \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2 \leq 0. \quad (2.46)$$

Таким чином, аналітична залежність, яка характеризує взаємозв'язок коефіцієнта K_T та основні параметри очисної системи, має вигляд:

$$K_T = \frac{2[V_{max}]}{-DK_{vn}tg\beta \frac{d\varphi}{dt} \pm \sqrt{\left(DK_{vn}tg\beta \frac{d\varphi}{dt}\right)^2 (\cos^2 \psi - 1) - \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2}} \geq 1 \quad (2.47)$$

Враховуючи (2.37), для практичного використання залежностей (2.46), (2.47) можна записати:

$$\left. \begin{aligned} V_{ck} &= -\pi DnK_{vn}tg\beta \pm \pi \sqrt{(DnK_{vn}tg\beta)^2 (\cos^2 \psi - 1) - (Dn \cos \varphi - D_e n_e)^2}; \\ K_T &= \frac{[V_{max}]}{-DnK_{vn}tg\beta \pm \pi \sqrt{(DnK_{vn}tg\beta)^2 (\cos^2 \psi - 1) - (Dn \cos \varphi - D_e n_e)^2}} \geq 1 \end{aligned} \right\} \quad (2.48)$$

Залежність кута ψ між проекцією вектора \bar{V}_{ck} на горизонтальну площину OXY з вектором швидкості осьового переміщення витків шнека \bar{V}_n від основних параметрів КОС може мати вигляд [135]:

$$\begin{aligned} \psi &= \arcsin \left(\sqrt{1 + \frac{T^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2}{\pi^2 \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2}} \right)^{-1} = \\ &= \arcsin \left(\sqrt{1 + \frac{D^2 tg^2 \beta \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2}{\pi \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2}} \right)^{-1}. \end{aligned} \quad (2.49)$$

Крок гвинтової лінії T і кут підймання гвинтової лінії β по зовнішньому діаметру при проектуванні шнекових робочих органів вибирається із умови забезпечення вільного проходження кормових буряків (за їх загальною

довжиною) і максимальної швидкості їх транспортування вздовж осьової лінії обертання шнека, при цьому [136]

$$\beta = 45^\circ - \frac{\varphi_k}{2}, \quad (2.50)$$

де φ_k – кут тертя ковзання матеріалу по гвинтовій поверхні, град.

Встановлено, що кут тертя ковзання коренеплоду по металевій поверхні становить $\varphi_k = 35,0$ град [136], тоді, з врахуванням (2.50), $\beta = 27,5$ град.

Підставивши значення (2.49), (2.50) у залежність (2.45) одержимо математичну модель кінематичного процесу технологічної взаємодії кормових буряків з витком шнека, яка функціонально пов'язує величину та напрямок сумарної швидкості співудару коренеплоду V_{ck} з параметрами КОС:

$$2 \frac{dl_k}{dt} + DK_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \frac{d\varphi}{dt} = \sqrt{\left(DK_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \cos^2 \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{D^2 \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2}{\pi \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2}} \right) \right] - 1} - \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2}, \quad (2.51)$$

або коефіцієнта K_T

$$* K_T = \frac{2[V_{max}]}{-DK_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \frac{d\varphi}{dt} \pm}$$

$$\pm \sqrt{\left(DK_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \cos^2 \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{D^2 \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2}{\pi \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2}} \right) \right] - 1} - \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2}.$$

* – порядковий номер формули (2.52).

Враховуючи (2.37), для практичного використання залежностей (2.51), (2.52) можна записати:

$$V_{ck} + \pi D n K_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) =$$

$$= \pm \pi \sqrt{\left(D n K_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \right)^2 \left\{ \cos^2 \left[\arcsin \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{D^2 n^2 \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right)}}{\pi (D n \cos \varphi - D_e n_e)^2}} \right) \right] - 1 \right\} - (D n \cos \varphi - D_e n_e)^2} \quad (2.53)$$

$$* K_T = \frac{[V_{max}]}{-\pi D n K_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \pm \pi \sqrt{\left(D n K_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \right)^2 \left\{ \cos^2 \left[\arcsin \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{D^2 n^2 \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right)}}{\pi (D n \cos \varphi - D_e n_e)^2}} \right) \right] - 1 \right\} - (D n \cos \varphi - D_e n_e)^2}} \geq 1$$

* - порядковий номер формули (2.54).

Враховуючи прийняту раніше гіпотезу, що мінімізація пошкодження кормових буряків і максимальна ефективність роботи КОС буде за умови, коли кут $\psi = 0$, або вираз $\cos^2 \psi - 1 = 0$, адекватність якого впливає з аналізу залежності (2.45), математичні моделі (2.51), (2.52) та залежності (2.53), (2.54) можна записати в наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} & 2 \frac{dl_k}{dt} + D K_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \frac{d\varphi}{dt} = D_e \frac{d\varphi_e}{dt} - D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt}; \\ & K_T = \frac{2[V_{max}]}{-D K_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \frac{d\varphi}{dt} \pm D_e \frac{d\varphi_e}{dt} - D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt}} \geq 1 \end{aligned} \right\}; \quad (2.55)$$

$$\left. \begin{aligned} V_{ck} + \pi D n K_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) &= \pm \pi (D_e n_e - D n \cos \varphi); \\ K_T &= \frac{[V_{max}]}{-\pi D n K_{vn} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right) \pm \pi (D_e n_e - D n \cos \varphi)} \geq 1 \end{aligned} \right\} \quad (2.56)$$

Одержані залежності (2.55) є математичними моделями, які функціонально пов'язують величину та напрямок сумарної швидкості співудару коренеплоду V_{ck} з параметрами КОС та регламентують кінематичний

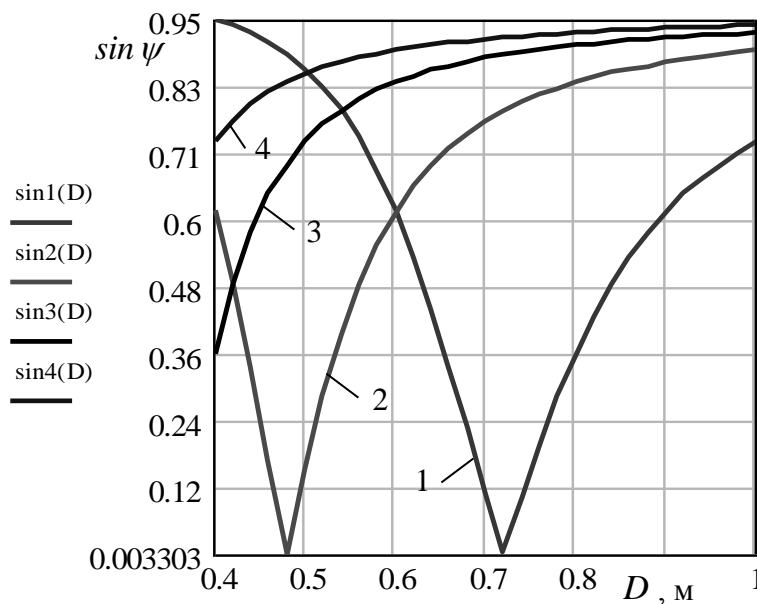
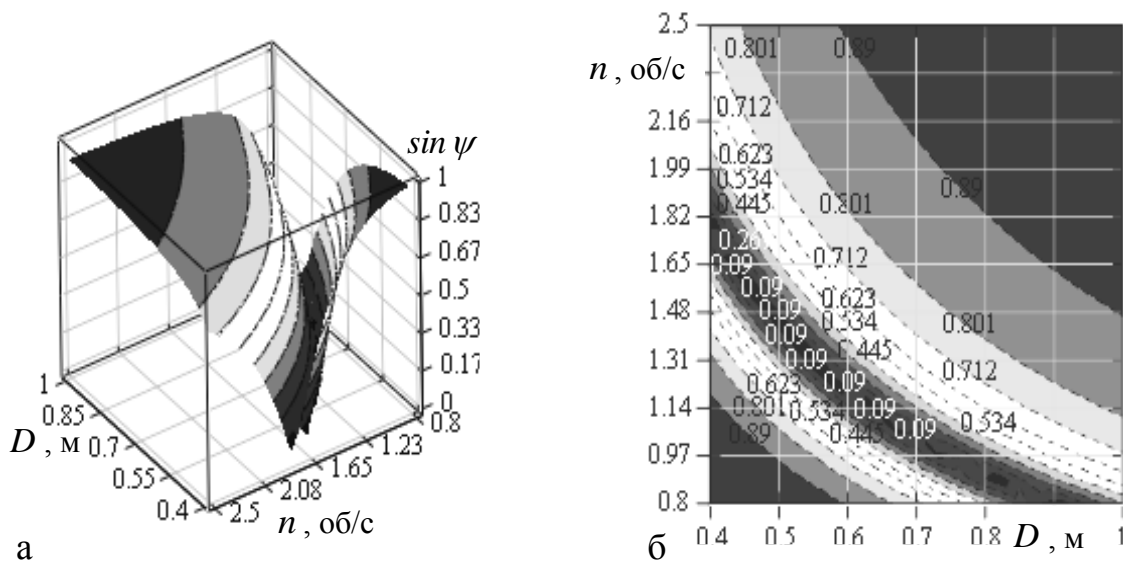


Рис. 2.11. Залежність зміни кута ψ як функціонала:

а, б – $\sin \psi = f(d, n)$; в – $\sin \psi = f(d)$;

1 – $n = 50$ об/хв; 2 – $n = 90$ об/хв; 3 – $n = 120$ об/хв; 4 – $n = 150$ об/хв

процес технологічної взаємодії кормових буряків з витком шнека за умови забезпечення їх мінімальних пошкоджень.

В аспекті теоретичної реалізації даної гіпотези, враховуючи (2.49), можна записати, що умова $\cos^2 \psi - 1 = 0$ буде реалізуватися, коли $\cos^2 \psi = 1$, або $\cos \psi = \sqrt{1 - \sin^2 \psi} = 1$, або $\sin \psi = 0$, тобто

$$\sin \psi = \left(\sqrt{1 + \frac{D^2 \operatorname{tg}^2 \beta \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2}{\pi \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2}} \right)^{-1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{D^2 n^2 \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_k}{2} \right)}{\pi (Dn \cos \varphi - D_e n_e)^2}}} = 0. \quad (2.57)$$

На рис. 2.11 наведено залежність зміни кута $\sin \psi$ як функціонала: а, б – $\sin \psi = f(d, n)$; в – $\sin \psi = f(d)$ при значенні $\varphi_k = 35,0$ град.; $\varphi = 45,0$ град.

На основі аналізу графічних залежностей (рис. 2.11) встановлено, що умова забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів кормових буряків, або коли напрямок вектора сумарної швидкості співудару \vec{V}_{ck} коренеплодів з витком шнека співпадає з напрямком \vec{V}_n (при цьому $\psi = 0$) функціонально виконується при наступних співвідношеннях комбінацій діаметра D і частоти обертання шнека n : $D = 0,4$ м, $n = 1,65$ об/с (99 об/хв); $D = 0,5$ м, $n = 1,5$ об/с (90 об/хв); $D = 0,6$ м, $n = 1,2$ об/с (72 об/хв); $D = 0,7$ м, $n = 1,0$ об/с (60 об/хв); $D = 0,8$ м, $n = 0,85$ об/с (50 об/хв).

Але ці твердження будуть цілком закономірними, або адекватність даних комбінацій параметрів шнека буде реально відповідати практичній реалізації технологічного процесу роботи КОС, при виконанні (врахуванні) умови забезпечення необхідної розрахункової продуктивності шнека та його допустимої кутової швидкості обертання [137], яка технологічно забезпечує дану продуктивність і умову непошкодження коренеплодів.

Таким чином, на основі аналізу проведених теоретичних досліджень для реалізації експериментальних досліджень вибираємо наступні значення

основних конструктивно-кінематичних параметрів КОС: швидкість руху подавального транспортера $V_e = 1,6$ м/с; діаметр шнека $D = 0,4 \dots 0,8$ м; частота обертання шнека $n = 90 \dots 120$ об/хв; кут підймання гвинтової лінії по зовнішньому діаметрі $\beta = 27,5^\circ$; крок шнека $T = 0,7$ м.

2.3. Попередні висновки до розділу

1. Під час аналізу уточнення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів встановлено, що максимальні значення маси ґрунту на коренеплодах конічної та циліндричної форми прогнозовано знаходяться у межах 80...125 та 480...500 г. Із врахуванням поправочного коефіцієнта λ_s ці значення будуть значно меншими.

2. У процесі аналізу співудару коренеплоду з витком шнека встановлено, що значення коефіцієнта технологічної взаємодії $K_T \geq 1,0$ забезпечується при діаметрі шнека 0,5...0,8 м, його частоти обертання 65,0...115,0 об/хв і значенні кута підйому гвинтової лінії 35° . Якщо кут підйому гвинтової лінії більше 45° , відбувається інтенсивне зменшення коефіцієнта ($K_T \ll 1,0$), що призводить до значного збільшення сумарної швидкості удару коренеплодів, або підвищення їх пошкоджень.

3. У процесі аналізу векторного руху після взаємодії коренеплоду з витком шнека встановлено, що умова забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів, або напрямок вектора сумарної швидкості співудару співпадає з напрямком осьового переміщення витків шнека, функціонально виконується при значеннях діаметра шнека 0,5; 0,6 і 0,7 м та відповідної частоти обертання шнека 90, 70 і 60 об/хв.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА

ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма, об'єкт і предмет експериментальних досліджень

Основними завданнями проведення експериментальних досліджень є практична реалізація перевірки відповідності та адекватності числової реалізації розроблених аналітичних детермінованих математичних моделей.

На основі визначеної мети та поставлених наукових завдань, а також проведеного теоретичного аналізу формалізованого процесу функціонування комбінованої очисної системи, програма лабораторно-польових експериментальних досліджень містить наступні завдання:

1. На основі проведеного аналізу роботи очисників вороху коренеплодів розробити конструктивно-компонувальну схему КОС.

2. Провести комплекс лабораторно-польових експериментальних досліджень для обґрунтування поправочного коефіцієнта та уточнення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні формалізованого тіла кормових буряків залежно від їх розмірно-масових параметрів.

3. Провести лабораторні експериментальні дослідження для одержання емпіричних регресійних залежностей, які характеризують зміну пошкоджень кормових буряків залежно від сумарної швидкості їх співудару з робочими поверхнями шнека.

4. Провести експериментальні польові дослідження основних показників ефективності процесу відокремлення домішок вороху від коренеплодів на КОС та обґрунтувати її основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри.

5. Провести порівняльну оцінку ефективності використання КМ, яку обладнано розробленою очисною системою вороху коренеплодів і базової машини в умовах господарства.

Об'єктом експериментальних досліджень є кормові буряки, КОС та

процес відокремлення домішок КОС.

Предметом експериментальних дослідження є маса налиплого ґрунту, конструктивно-кінематичні параметри КОС та показники якості виконання технологічного процесу очищення вороху кормових буряків.

Експериментальні дослідження проведені з використанням розроблених лабораторної та польових установок, які виконані з можливістю регулювання їх конструктивно-кінематичних параметрів.

Основні завдання, які вирішувалися при проведенні експериментальних досліджень, були такими.

1. Одержати рівняння регресії, які характеризують залежність зміни:

- маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків і поправочного коефіцієнта залежно від їх розмірно-масових параметрів;
- глибини пошкоджень тіла кормових буряків залежно від сумарної швидкості їх співудару з витком шнека;
- показників якості відокремлення домішок від коренеплодів залежно від параметрів очисної системи.

2. Визначити основні показники якості при роботі КОС у складі удосконаленої КМ.

При проведенні польових експериментальних досліджень маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних кормових буряків і обґрунтування поправочного коефіцієнта λ_S використовували польову установку, конструктивна схема якої наведена на рис. 3.1. Польова установка начіплювалась на спеціальну рамку, яку змонтовано на лонжеронах трактора МТЗ-82 в зоні передніх керованих коліс. Загальний вигляд польової установки (пристрою для викопування коренеплодів) наведено на рис. 3.2, а.

Пристрій для викопування кормових буряків (рис. 3.1, 3.2) складається з несучої рами 1, яка опирається на переднє та два задні регульовальні колеса 2. На рамі встановлені пасивні односторонні сферичні диски 3, які розміщені під кутом атаки 30^0 . Також на рамі змонтовано полоз 4, на якому у зоні відповідного рядка коренеплодів закріплено пластинчастий ніж. За допомогою

сниці 5 пристрій начіплюється на спеціальну рамку трактора.

Застосування пасивного одностороннього сферичного диска 3 (рис. 3.2, б) у якості викопувального робочого органу було вибрано з метою моделювання реального процесу викопування кормових буряків, тому що даний тип копача набув широкого застосування у конструктивно-компонувальних схемах сучасних КМ [1, 2, 6, 9, 131].

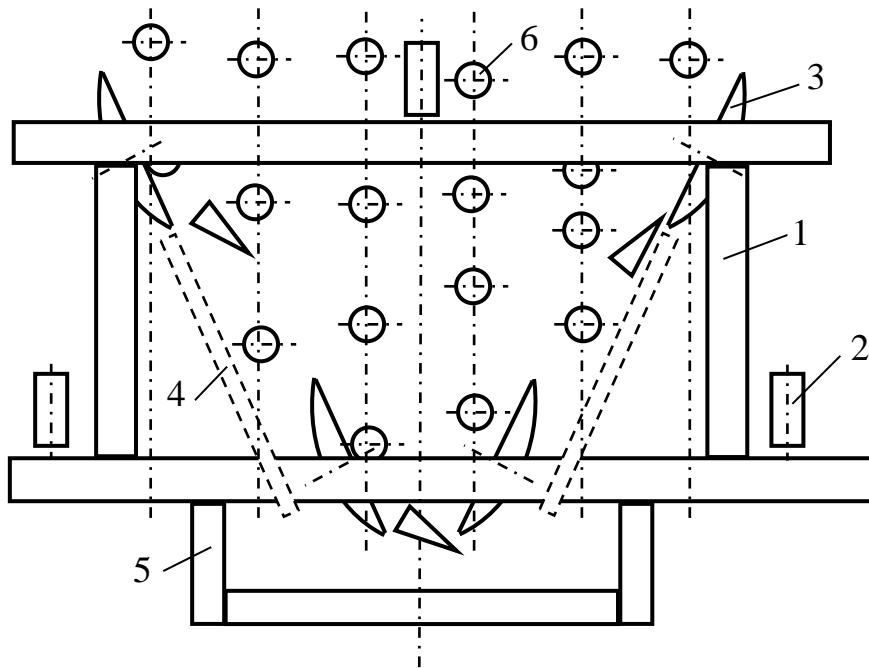


Рис. 3.1. Конструктивна схема польової установки для викопування кормових буряків: 1 – рама; 2 – опорні регульовальні колеса; 3 – сферичний диск; 4 – полоз з ножом; 5 – сниця; 6 – коренеплід

Під час руху агрегату вздовж рядків коренеплоди 6 викопуються сферичними дисками 3 і укладаються на поверхню поля, утворюючи валок.

Для проведення експериментальних досліджень, щодо встановлення ступеня пошкодження кормових буряків залежно від зміни сумарної швидкості їх співудару з робочими поверхнями витка 3 шнека 8 (рис. 1.22) КОС було використано розроблену лабораторну установку з застосуванням сферичного маятникового копра [138, 139]. Конструктивна схема сферичного маятникового копра наведена на рис. 1.В.1.1 додатка В.1.1, а конструктивна схема лабораторної установки – на рис. 3.3. Загальний вигляд лабораторної установки наведено на рис. 4.11.

Сферичний маятниковий копер призначений для дослідження кінематично-динамічних параметрів процесу, які виникають у результаті співудару коренеплідів з різними поверхнями контакту робочих органів на основі фіксації сумарної швидкості співудару.

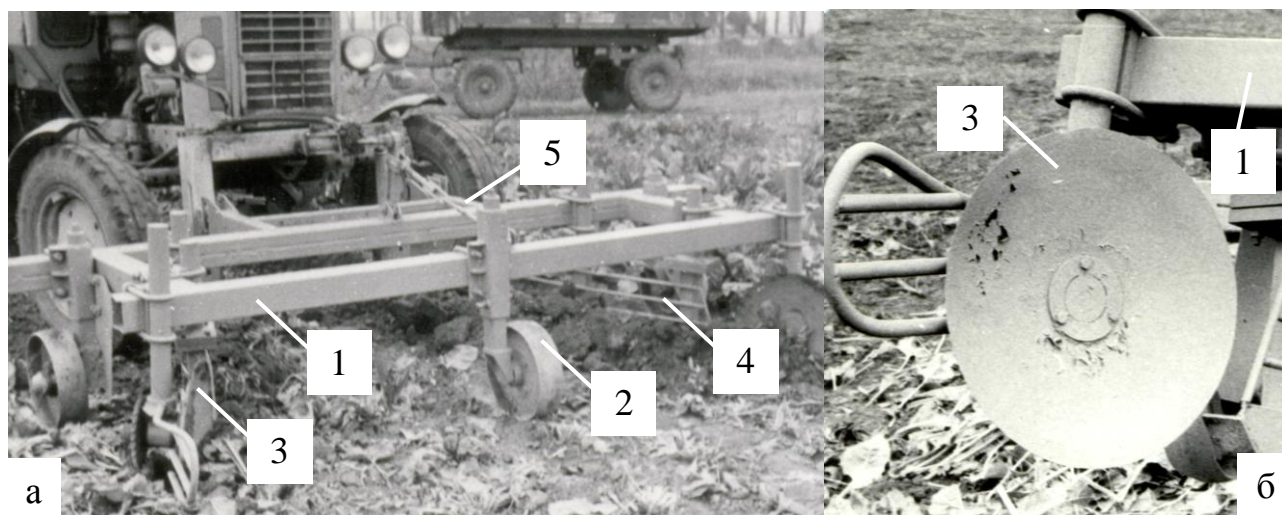


Рис. 3.2. Загальний вигляд: а – агрегату для викопування кормових буряків; б – пасивного одностороннього сферичного диска

Він складається з кронштейна 1 (рис. 1.В.1.1 додатка В.1.1), на якому змонтовано кульову опору 2, сферичний підшипник 3, який посаджено на вісь маятника 4. На коротший верхній кінець 5 маятника встановлено корпус 6 з підпружиненим олівцем 7, над яким розташовано півкульову поверхню 8, закріплену на стояках 9, які жорстко зв'язані з кронштейном. На нижній довшій кінець маятника закріплено коренеплід 11, який упирається у екран 12. Радіус півкульової поверхні дорівнює відстані від центру осі обертання маятника, тобто від центру кульової опори до верхнього кінчика олівця. На внутрішній частині півкульової поверхні нанесено протаровану шкалу, яка показує, на який кут від вертикального положення відхилено і відхиляється маятник.

Кут нахилу співудару γ регулюється межах $0...90^{\circ}$. Радіус півкульової поверхні дорівнює відстані від центру кульової опори, або осі обертання маятника до кінчика підпружиненого олівця.

Принцип роботи маятникового копра аналогічний фізичному маятнику.

Лабораторна установка для дослідження ступеня пошкодження коренеплодів (рис. 3.3) складається зі сферичного маятникового копра А, будову та принцип роботи якого наведено вище, та шнека Б (поз. 12). При цьому маятниковий копер А встановлювали біля шнека 12 таким чином, щоб зразок коренеплоду 11 в стані спокою (вертикальне положення маятника) дотикався до витка шнека 13 в точці M , яка знаходиться в горизонтальній площині, розташованій на осі обертання шнека.

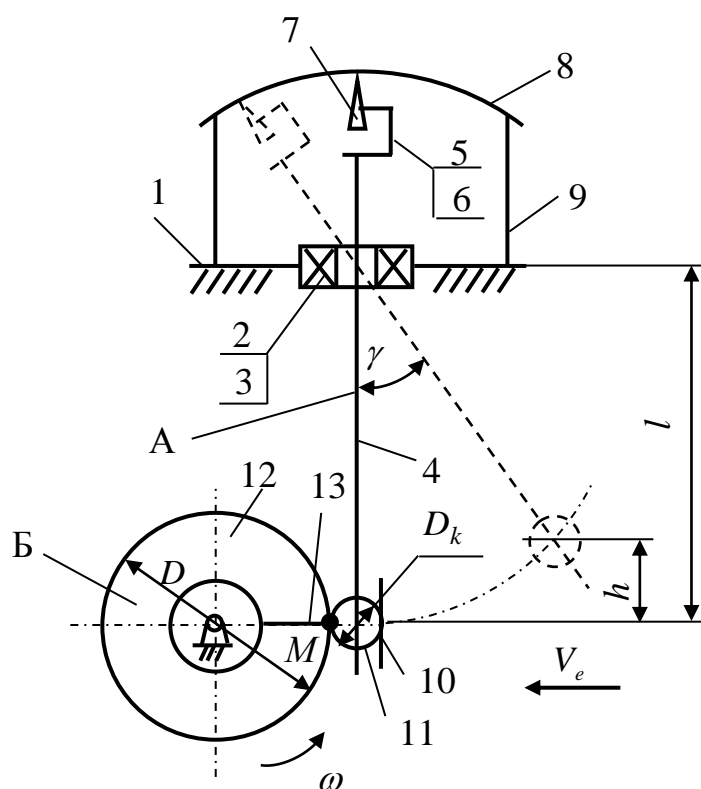


Рис. 3.3. Конструктивна схема лабораторної установки:

- 1 – кронштейн; 2 – кульова опора; 3 – сферичний підшипник;
 4 – нижня вісь маятника; 5 – верхня вісь маятника; 6 – корпус;
 7 – підпружинений олівець; 8 – півкульова поверхня; 9 – стояк;
 10 – екран; 11 – коренеплід; 12 – шнек; 13 – виток

Принцип роботи лабораторної установки наступний.

У момент проходження коренеплодом нижньої точки M , при відхиленні маятника копра від вертикалі на фіксований кут відхилення γ , відбувається удар (контакт) коренеплоду з поверхнею витка шнека, який обертається

назустріч руху коренеплоду з частотою обертання n . Внаслідок зіткнення (удару) коренеплід відхиляється від шнека з сумарною швидкістю співудару V_{ck} , при цьому олівець пише на внутрішній частині півкульової поверхні лінію. Її довжина і напрямок залежать від кута γ відхилення осі маятника копра від вертикалі (початкової швидкості співудару V_e коренеплоду з шнеком, або швидкості подавального транспортера 1, рис. 1.22), маси коренеплоду m_k , виду поверхні співудару (металічна поверхня) та параметрів шнека.

Для дослідження основних показників процесу відокремлення домішок (загальних домішок, маси вільного та налиплого ґрунту) від коренеплодів із складу викопаного вороху та проведення порівняльних випробувань основних показників якості роботи КОС було використано самохідну КМ МКК-6, призначену для збирання кормових буряків. КМ МКК-6 була обладнана КОС (див. рис. 1.22), яку виготовлено та змонтовано у ННЦ "ІМЕСГ" УААН.

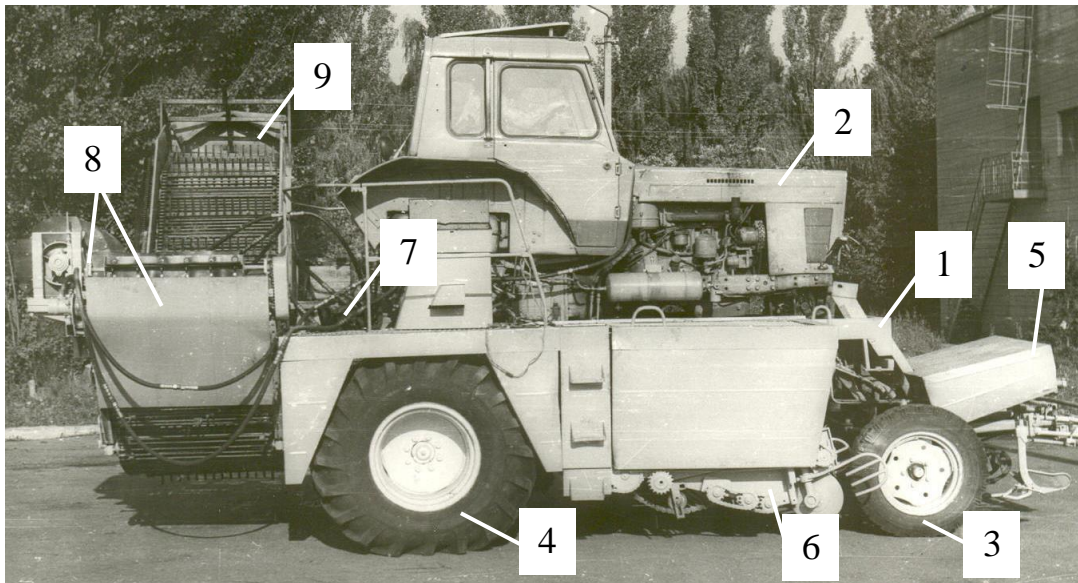


Рис. 3.4. Загальний вигляд удосконаленої КМ МКК-6

Загальний вигляд польової експериментальної установки (удосконаленої самохідної КМ МКК-6) наведено на рис. 3.4, а її конструктивно-компонувальна схема наведена на рис. 3.5.

Шестирядна самохідна КМ МКК-6 має основну раму 1 (рис. 3.4), на якій встановлено трактор 2 (МТЗ-80), передні 3 та задні 4 колеса, автомат

керування 5, викопуючий пристрій 6, КОС 8, вивантажувальний транспортер 9 та ТТС 7, які розташовані між викопуючим пристроєм і КОС: шнековий очисник 5 (рис.3.5) і похилий прутковий транспортер 6.

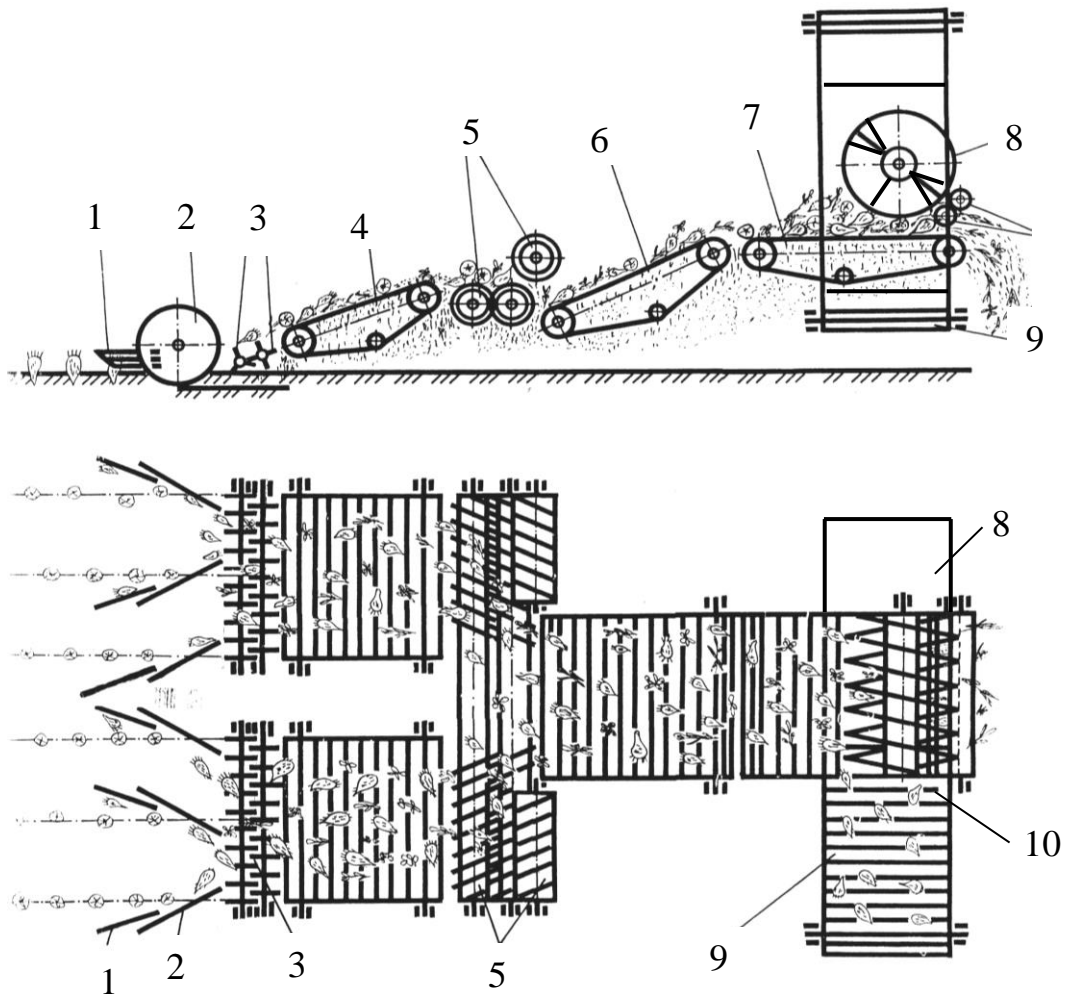


Рис. 3.5. Конструктивно-компонувальна схема удосконаленої машини МКК-6: 1 – корененаправник; 2 – сферичний диск; 3 – кулачкові вали; 4, 6, 7, 9, 10 – приймальний, похилий, горизонтальний, поперечний і вивантажувальний пруткові транспортери; 5 – очисник; 8 – КОС

Викопуючий пристрій (рис. 3.5, 3.6) має рухома раму, на якій встановлено корененаправники 1, пасивні однодискові копачі 2, які розташовані під кутом $30...35^{\circ}$ до напрямку руху машини, підбиральні кулачкові вали 3 та приймальний прутковий транспортер 4. Рухома рама викопуючого пристрою змонтована на основній рамі машини за допомогою шарнірів.

Шнековий очисник 5 (рис. 3.5) має систему послідовно встановлених валів з гвинтовою навивкою і складається із правої та лівої секцій, кожна із яких має пару довгих і пару коротких вальців, які закріплені на рамі машини.

Загальна будова КОС 8 (рис. 3.4, 3.5) описана в підрозділі 1.3 розділу 1, а її конструктивно-технологічна схема наведена на рис. 1.21.

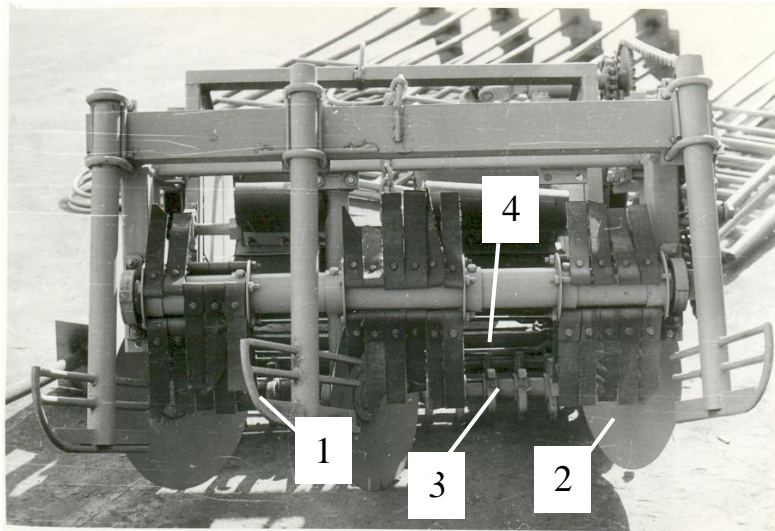


Рис. 3.6. Загальний вигляд викопуючого пристрою КМ МКК-6:

- 1 – корененаправник; 2 – сферичний диск; 3 – кулачкові вали;
4 – приймальний транспортер

Технологічний процес роботи удосконаленої КМ МКК-6 наступний.

Під час руху машини автомат керування 5 (рис. 3.4) точно направляє передні колеса машини 3 по середині міжрядь, а сферично-дисккові копачі 2 (рис. 3.5, 3.6) по рядках коренеплодів. Пасивні сферично-дисккові копачі викопують коренеплоди, при цьому корененаправники 1 зміщують вибиті гичкозбиральною машиною коренеплоди в зону дії копачів. Коренеплоди і домішки, які підібрані кулачками 3 надходять на приймальний транспортер 4 викопуючого пристрою, де частина домішок просіюється між його прутками. Приймальним транспортером ворох переміщується на шнековий очисник 5, на якому коренеплоди доочищаються від рослинних залишків і вільної землі і зміщуються ним до центру машини на повздовжній прутковий транспортер 6, який направляє ворох далі на горизонтальний прутковий транспортер 1 (рис.

1.21) КОС 8, технологічний процес роботи якої описано в підр. 1.3 розділу 1.

Привод гірки 9 (рис. 1.21) КОС здійснюється за рахунок обертання гідромотора, а привод всіх інших робочих органів польової експериментальної установки – від ВВП трактора МТЗ-80.

Технічна характеристика польової установки (удосконаленої самохідної КМ МКК-6) наведена в додатку В.2.1.

3.2. Методика визначення поправочного коефіцієнта та уточнення маси налиплого ґрунту на коренеплодах

Для уточнення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків і обґрунтування поправочного коефіцієнта залежно від їх розмірно-масових параметрів провели польові експериментальні дослідження на основі побудови та проведення умовного багатofакторного експерименту типу ПФЕ P^k , де P – кількість рівнів варіювання фактора; k – кількість факторів, які присутні у експерименті.

Дослідження проводили на посівах кормових буряків напівгібридного сорту «Київський».

Довжина кожної 6-ти рядної залікової ділянки посівів кормових буряків становила 25 м. Порядок вибору залікової ділянки, урожайність коренеплодів на полі та питому масу ґрунту ρ визначали за загальновідомою методикою [128, 129, 140, 141]. Гичку кормових буряків перед початком викопування зрізували на висоті високостоячих коренеплодів гичкозбиральною машиною МБК-2.7 [142], після чого маркером (надрізом) на тілі коренеплодів позначали висоту розташування коренеплодів над поверхнею ґрунту.

Кормові буряки викопували з ґрунту односторонніми пасивними сферичними дисками 3 (рис. 3.1, 3.2), при цьому два полози 4 з пластинчастим ножем виглиблювали з ґрунту, тобто одночасно викопували чотири рядки посівів кормових буряків. Швидкість руху агрегату для викопування кормових буряків (рис.4.1), діаметр сферичних дисків і глибину ходу сферичних дисків,

які були постійними при проведенні всіх експериментів і становили відповідно 1,5 м/с, 0,45 м і 0,09 м, приймали згідно з агротехнічними вимогами до коренезбиральних машин. З утвореного валка кормових буряків вибраковували пошкоджені коренеплоди з відірваною хвостовою частиною, діаметр якої становив більше 1,5 см [128, 129].

Після ручного зрізування залишків гички з головок коренеплодів, лініями чорного маркера позначали площі налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів, а далі вручну зчищували налиплий ґрунт на шальку терезів (вагів) з наступним зважуванням його з точністю до 0,5 г.

На позначені маркером площі налиплого ґрунту бічної поверхні тіла коренеплодів накладали прозорий папір, поверхню якого було графічно поділено на квадрати площею 0,25 см² кожний. Підрахунок сумарної площі з налиплим ґрунтом на бічній поверхні тіла коренеплодів проводили шляхом множення загальної кількості квадратів на площу одного квадрата, тобто

$$\sum S_{\rho} = S_1 \sum_{i=1}^n N_{S_{1i}} = 0,25 \sum_{i=1}^n N_{S_1}, \quad (3.1)$$

де $\sum S_{\rho}$ – сумарна площа з налиплим ґрунтом на бічній поверхні тіла коренеплоду, см²;

$S_1 = 0,25$ см² – площа одного графічного квадрата;

$\sum_{i=1}^n N_{S_1}$ – загальна кількість квадратів, шт.

Діаметр головки D_k , висоту розташування коренеплодів над поверхнею ґрунту H_n та загальну довжину коренеплодів L_k вимірювали штангенциркулем, при цьому загальну довжину коренеплоду вимірювали до його хвостової частини діаметром 1,5 см, а глибину залягання коренеплоду в ґрунті H_{ρ} визначали як різницю загальної довжини і висоти розташування коренеплодів над поверхнею ґрунту.

Загальну площу підземної бічної поверхні тіла коренеплоду $\sum S_{k.n}$,

розташованого у ґрунті на глибині залягання, визначали за відомою формулою, визначивши перед цим штангенциркулем діаметр коренеплоду d_k на рівні поверхні ґрунту (по лінії маркера).

Масу коренеплоду визначали зважуванням на вагах з точністю до 0,1 кг. У першому випадку поправочний коефіцієнт λ_{1S} визначали як відношення сумарної площі з налиплим ґрунтом на бічній поверхні тіла до загальної площі підземної бічної поверхні тіла коренеплоду, тобто

$$\lambda_{1S} = \sum S_{\rho} / \sum S_{k.n}, \quad (3.2)$$

де $\sum S_{k.n}$ – загальна площа підземної бічної поверхні тіла коренеплоду, см².

З усього напрацьованого експериментального масиву даних утворювали вибірку даних одного конкретного значення загальної довжини та глибини залягання коренеплодів у ґрунті.

При експериментальному дослідженні поправочного коефіцієнта λ_S використовували вибірку великого об'єму, тобто кількість вимірів параметра оптимізації була більше 50 [143].

Для отримання регресійної моделі параметрів оптимізації, вибирали відповідний умовний план багатофакторного експерименту, реалізацію якого проводили у наступній послідовності.

Незалежними змінними факторами приймали: коефіцієнт пропорційності відношення глибини залягання коренеплоду у ґрунті k_{ρ} , який кодували індексом x_1 і загальну довжину коренеплоду L_k , який кодували індексом x_2 .

Двофакторний експеримент провели на трьох рівнях варіювання змінними факторами, тобто реалізували експеримент типу ПФЕ 3².

Нульовий рівень, або середнє значення кожного вхідного фактора, визначали за формулою [144, 145]:

$$x_0 = \frac{x_{max} + x_{min}}{2}, \quad (3.3)$$

де x_0 – числове значення нульового рівня вхідного фактора;

x_{max} – числове значення верхнього рівня вхідного фактора;

x_{min} – числове значення нижнього рівня вхідного фактора.

Визначали інтервали варіювання факторами [144, 145]:

$$\Delta x_i = \frac{x_{max} - x_{min}}{2} \quad (3.4)$$

де Δx_i – числове значення інтервалу варіювання i -го фактора.

При побудові умовної план-матриці експериментів вводили кодовані позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторами, відповідно, позначали як +1, -1, 0 [146].

Результати кодування змінних факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання ПФЕ 3²

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Натур.	Код.				
Коефіцієнт пропорційності, k_ρ	X_1	x_1	0,1	0,5/-1	0,6/0	0,7/+1
Загальна довжина коренеплоду, L_k , см	X_2	x_2	5,0	15,0/-1	20,0/0	25,0/+1

Оскільки при проведенні експериментів змінні незалежні фактори неоднорідні і мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від дійсних (натуральних) значень до введених позначень кодованих величин.

Зв'язок між кодованими x_i та натуральними X_i значеннями змінних факторів встановлювали за залежністю [147]:

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (3.5)$$

де x_{i0} – числове значення i -го фактору на нульовому рівні;

x_i – натуральне позначення i -го фактору.

Загальна кількість дослідів N двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 визначається за формулою $N = P^k$, де P – кількість рівнів варіювання, k – кількість діючих вхідних факторів. Після визначення загального числа дослідів N склали план-матрицю умовного двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 , яку наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

План-матриця експерименту типу ПФЕ 3^2

№ досл.	Рівні факторів			Взаємодія факторів	Параметр оптимізації, $Y_{ij} = m_{1ap}^e$			Серед. значення, $Y_c = m_{1ap}^e$	Параметр оптимізації, $Z_{ij} = \lambda_S$			Серед. значення, $Z_c = \lambda_S$
					Повторність				Повторність			
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	1	2	3	Y_c	1	2	3	Z_c
1	+1	+1	+1	+1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1c}	Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}	Z_{1c}
2	+1	0	+1	0	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{2c}	Z_{21}	Z_{22}	Z_{23}	Z_{2c}
3	+1	-1	+1	-1	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{3c}	Z_{31}	Z_{32}	Z_{33}	Z_{3c}
4	+1	+1	0	0	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{4c}	Z_{41}	Z_{42}	Z_{43}	Z_{4c}
5	+1	0	0	0	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{5c}	Z_{51}	Z_{52}	Z_{53}	Z_{5c}
6	+1	-1	0	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}	Z_{61}	Z_{62}	Z_{63}	Z_{6c}
7	+1	+1	-1	-1	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{7c}	Z_{71}	Z_{72}	Z_{73}	Z_{7c}
8	+1	0	-1	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{8c}	Z_{81}	Z_{82}	Z_{83}	Z_{8c}
9	+1	-1	-1	+1	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{9c}	Z_{91}	Z_{92}	Z_{93}	Z_{9c}

Під час проведення експериментальних польових досліджень необхідну кількість вимірів (повторність дослідів) показника, що контролюються,

визначали за методикою, яка викладена у [148], при цьому досліди провели у трикратній повторності з метою достовірної оцінки кількості налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів.

Порядок проведення, умови відбору проб і визначення показників маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів проводили за відомими стандартними методиками згідно з встановленими діючими положеннями та рекомендаціями [128, 129, 148].

Отримані експериментальні значення маси налиплого ґрунту m_{1ap}^e на бічній поверхні тіла коренеплодів, при граничних значеннях відповідних точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 , заносили у відповідні графи табл. 3.2.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки з використанням загальновідомих методик кореляційного і регресійного аналізу експериментальних даних для отримання у кінцевому результаті емпіричних рівнянь регресії [148, 149], які характеризують закономірність зміни маси налиплого ґрунту m_{1ap}^e на бічній поверхні тіла кормових буряків від їх розмірних характеристик.

Перевірку відтворюваності дослідів, вибраної апроксимуючої математичної моделі $m_{1ap}^e = f(x_1; x_2)$ при однаковому числі повторюваності кожного дослідів (точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2), проводили за критерієм Кохрена [144, 147]:

$$G_P = \frac{D_{Y \max}}{\sum_{U=1}^N D_{YU}}, \quad (3.6)$$

де G_P – розрахункове значення критерію Кохрена;

$D_{Y \max}$ – числове значення максимальної дисперсії в u -й точці;

D_{YU} – дисперсія, яка характеризує розсіювання результатів в u -му досліді;

N – загальна кількість дослідів.

Дисперсію відтворюваності апроксимуючої математичної моделі визначали за формулою [144, 147]:

$$D_{YU} = \frac{1}{m-1} \sum_{U=1}^N (Y_{Uj} - \bar{Y}_U)^2; \quad (3.7)$$

$$\bar{Y}_U = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Y_{Uj}, \quad (3.8)$$

де \bar{Y}_U – середньоарифметичне значення відгуку u -го дослідів;

Y_{Uj} – числове значення j -го відгуку u -го дослідів;

m – число повторності дослідів;

N – число дослідів в плані однієї повторності;

$m-1$ – число ступеня вільності;

$j = 1, 2, \dots, n$;

Знайдені розрахункові значення критерію Кохрена порівнювали з табличним [65], при цьому табличне значення критерію Кохрена G_T визначали за заданим рівнем значимості α і двома степенями відповідності $f_{ag} = N - g$ та $f_y = N(m-1)$ [144, 147].

Умову адекватності вибраної математичної моделі $m_{lap}^e = f(x_1; x_2)$ перевіряли згідно з нерівністю

$$G_p < G_T. \quad (3.9)$$

Отримане значення G_p порівнювали з табличним G_T . Якщо умова $G_p < G_T(0,05, f_{ag}, f_y)$ виконувалась, тобто розрахункове значення G_p - критерію Кохрена менше табличного G_T для 5 %-го рівня значущості, числі степені вільності дисперсії адекватності $f_{ag} = N - g$ та числі степені вільності дисперсії відтворюваності $f_y = N(m-1)$, то рівняння регресії ПФЕЗ² адекватно описує зміну реального експериментального масиву даних.

Якщо гіпотеза про однорідність дисперсії приймалась, тоді визначали дисперсію відтворюваності (середня дисперсія математичних очікувань) всього експериментального масиву за формулою:

$$D_{\bar{Y}0} = \frac{1}{n} \sum_{U=1}^N D_{YU}, \quad (3.10)$$

де $n = mN$ – загальне число вимірів в плані при трьох повторностях.

Коефіцієнти апроксимуючої математичної моделі $m_{1a\rho}^e = f(x_1; x_2)$, при умові ортогональності і симетрії композиційного плану ПФЕЗ², визначали за відповідними загальними формулами [149]:

- вільний член b_0 і коефіцієнти b_i i -го фактора

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}; \quad (3.11)$$

- коефіцієнти взаємодії b_{ij} і b_{ijk}

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N}; \quad b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \bar{y}_u}{N}, \quad (3.12)$$

де x_{iu} – значення кодованої змінної у відповідному стовпчику плану експерименту;

\bar{y}_u – середній результат u -го дослідження;

u – порядковий номер дослідження;

i – номер фактора;

j, k – номер фактора, відмінного від i -го.

Статистичну значимість коефіцієнтів рівняння регресії b_i апроксимуючої математичної моделі $m_{1a\rho}^e = f(x_1; x_2)$ проводили за t -критерієм Ст'юдента та визначали у такій послідовності [144, 147]:

- визначали умову значимості коефіцієнтів b_i рівняння регресії

$$b_{i(jk)} > \frac{t_T S_y}{\sqrt{Nm}}, \quad (3.13)$$

де t_T – табличне значення коефіцієнта Ст’юдента, яке вибирається з таблиці залежно від ступеня відповідності f_y та рівня значимості α [144, 147];

S_y – похибка відтворення,

при цьому похибку відтворення, дисперсію похибок дослідів у рядках плану ПФЕЗ² та дисперсію відтворення дослідів визначали за формулами:

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{uj} - \bar{y}_u)^2; \quad (3.14)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2. \quad (3.15)$$

$$S_y = \sqrt{S_y^2}. \quad (3.16)$$

Якщо умова значимості (3.13) не виконується, то такий коефіцієнт b_i рівняння регресії приймали рівним нулю, а відповідний член x_i рівняння регресії апроксимуючої математичної моделі $m_{1ap}^e = f(x_1; x_2)$ виключали.

За результатами розрахунків будували залежності поверхонь відгуку зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів як функції $m_{1ap}^e = f(x_1; x_2)$ та двомірний переріз поверхонь відгуку для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень, які проводили за допомогою пакета прикладних статистичних програм обробки і аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК “Statistica” та “MathCad”.

Аналіз випадковості процесу оцінювали за стандартними методиками, при цьому визначали математичне сподівання M , дисперсію випадкової величини D та коефіцієнт варіації V [144, 147].

3.3. Методика проведення лабораторних експериментальних досліджень пошкодження кормових буряків

Для визначення параметрів та режимів роботи технологічних процесів і робочих органів сільськогосподарських машин використовують фізико-механічні властивості рослин. Вихідними даними для оптимізації конструктивно-технологічних параметрів очисників вороху коренеплодів є агробіологічні характеристики цієї культури.

Підвищенням основних показників якості роботи машин для збирання кормових буряків, або зниження загальних пошкоджень коренеплодів досягається шляхом застосування комбінованої очисної системи [116]. У процесі роботи очисника відбувається динамічна взаємодія коренеплоду з витком шнека. Для встановлення закономірності зміни пошкодження коренеплодів залежно від параметрів очисної системи було проведено експериментальні дослідження процесу співудару коренеплодів 11 із витком 13 шнека 12 з використанням сферичного маятникового копра.

Структурну модель КОС „виток шнека-коренеплід” представляли у вигляді багатомірної системи „вхід-вихід”, або кібернетичного поняття “чорного ящика” [144, 145]. Вхідними величинами структурної моделі КОС є його конструктивно-кінематичні параметри, а вихідними – показники якості відокремлення домішок від коренеплодів. Експериментальні дослідження технологічного процесу функціонування структурної моделі КОС направлені до визначення характеру та принципу впливу кожної вхідної величини (фактора) або їх сумісного впливу на вихідну величину (параметр оптимізації), тобто до встановлення регресійної залежності зміни параметра оптимізації від змінних факторів КОС.

Для отримання регресійної моделі, яка характеризує зміну сумарної швидкості співудару коренеплодів V_{ck}^e , коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека K_T^e , пошкодження кормових буряків h_n від параметрів очисної системи, вибирали відповідний композиційний план

багатофакторного експерименту, при цьому незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання шнека n , яку кодували індексом x_1 ; діаметр шнека D , який кодували індексом x_2 , масу коренеплоду m_k , який кодували індексом x_3 .

Трифакторний експеримент провели на трьох рівнях варіювання змінними факторами, тобто реалізували експеримент типу ПФЕ 3^3 . Нульовий рівень та інтервал варіювання фактора визначали згідно з (3.3, 3.4), а зв'язок між кодованими x_i та натуральними X_i значеннями змінних факторів – за (3.5).

При побудові план-матриці експериментів вводили кодовані позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторами, відповідно +1, -1, 0 [146]. Результати кодування змінних факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання ПФЕ 3^3

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Натур.	Код.				
Частота обертання шнека, n , об/хв	X_1	x_1	50,0	50,0/-1	100,0/0	150,0/+1
Діаметр шнека, D , м	X_2	x_2	0,2	0,4/-1	0,6/0	0,8/+1
Маса коренеплоду, m_k , кг	X_3	x_3	0,5	1,0/-1	1,5/0	2,0/+1

Після визначення загального числа дослідів N склали план-матрицю проведення трифакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 , яку наведено у табл. 1.В.3.3 додатка В.3.3.

Досліди проводили у трикратній повторності згідно з положеннями [148]. Загальну будову та принцип роботи сферичного маятникового копра (рис. 3.3) наведено у підрозділі 3.1.

Зважені коренеплоди, які були відібрані з утвореного валка, доправляли до місця проведення експериментів і закріплювали на осі маятника згідно з рис. 1.В.1.1 додатка В.1.1, при цьому розрив у часі між викопуванням коренеплодів та проведенням дослідів складав не більше 0,5 год.

Проведені теоретичні дослідження [99, 107] показали, що швидкість руху подавального транспортера або швидкість співудару коренеплоду V_e з витком шнека в межах її раціональних значень 1,4...1,6 м/с та крок шнека ($T = 0,5$ м) суттєво не впливають на сумарну швидкість співудару V_{ck} , тобто на пошкодження коренеплодів. Тому експериментальні дослідження проводили при швидкості руху коренеплоду в момент його співудару з витком шнека рівній $V_e = 1,6$ м/с, при цьому швидкість співудару коренеплоду V_e залежно від кута відхилення осі маятника визначали за формулою [130]:

$$V_e = 2 \sin(0,5\gamma) \sqrt{gl_M}, \quad (3.15)$$

де γ – кут відхилення осі маятника від вертикальної площини, град.;

$g = 9,8$ м/с² – прискорення вільного падіння;

$l_M = 0,74$ м – відстань від осі обертання маятника до центра удару (довжина маятника даного копра).

Згідно з проведеними розрахунками за формулою (3.15) для даного маятнікового копра, швидкості співудару $V_e = 1,6$ м/с відповідає кут нахилу осі маятника від вертикалі $\gamma = 35^\circ$.

При відхиленні осі маятника на фіксований кут $\gamma = 35^\circ$ олівець пише на внутрішній частині півкульової поверхні вектор швидкості співудару, або лінію відповідної довжини, яка відповідає значенню початкової швидкості співудару коренеплоду з витком шнека $V_e = 1,6$ м/с, а після співудару – лінію (вектор) вектор сумарної швидкості співудару V_{ck} . Дані лінії переносили з внутрішньої частини півкульової поверхні на копіювальний папір з наступним вимірюванням лінійкою їх довжини з точністю до 1 мм.

На першому етапі визначаємо масштаб вектора швидкості, поділивши числове значення $V_e = 1,6$ м/с на довжину лінії (вектора), що писав олівець при відхиленні осі маятника на кут $\gamma = 35^\circ$.

Сумарну швидкість співудару коренеплоду V_{ck}^e з витком шнека визначали

за довжиною лінії, яку писав олівець на внутрішній частині півкульової поверхні після співудару, помноженої на визначений масштаб вектора швидкості, при цьому нехтували силою опору повітря, силою тертя повороту підшипника в опорі та руху олівця по кульовій поверхні.

Глибину пошкодження кормових буряків h_n^e і аналіз пошкодження визначали та проводили згідно з методикою [128].

Коефіцієнт технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека K_T^e , встановлений експериментальним методом, визначали згідно з формулою (2.30), при цьому $[V_{max}] = 3,1$ м/с [99, 150].

Отримані експериментальні значення сумарної швидкості співудару коренеплодів V_{ck}^e , коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека K_T^e , глибини пошкодження тіла кормових буряків h_n^e , при граничних значеннях відповідних точок композиційного плану трифакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 , заносили у відповідні графи табл. 1.В.3.3 додатка В.3.3.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки з використанням загальновідомих методик кореляційного і регресійного аналізу апроксимуючої математичної моделі $h_n^e = f(x_1; x_2; x_3)$ для отримання у кінцевому результаті емпіричних рівнянь регресії, порядок визначення яких описано в підрозділі 3.2.

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакета прикладних статистичних програм обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК “Statistica”, будували залежності поверхонь відгуку параметрів оптимізації та двомірний переріз поверхонь відгуку сумарної швидкості співудару коренеплодів $V_{ck}^e = f(n, D)$, коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека $K_T^e = f(n, D)$, глибини пошкодження тіла кормових буряків $h_n^e = f(n, D, m_k)$ для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень.

3.4. Методика проведення порівняльних досліджень комбінованої очисної системи

Ступені загального забруднення вороху коренеплодів домішками та пошкодження коренеплодів і кількості налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів при їх взаємодії з робочими поверхнями КОС визначають технологічний рівень КМ, тобто її технологічну ефективність застосування. Проблема зниження ступенів забруднення вороху коренеплодів рослинними залишками і налиплим ґрунтом на їх поверхні у процесі його очищення є актуальною для розробленої нової конструкції КОС.

При проведенні порівняльних випробувань був використаний макетний (експериментальний) зразок удосконаленої КМ МКК-6 (рис. 3.4, 3.5).

Польові порівняльні дослідження модернізованої КМ МКК-6, яку було обладнано КОС (рис. 1.21, рис. 3.7, а), провели порівняно з базовою машиною.

Конструктивно-кінематичні параметри КОС встановлювали згідно з результатами теоретичних і експериментальних обґрунтувань (розділ 2, 3). Параметри очисних елементів 7 (рис. 1.21, рис. 3.7, б) вибирали з врахуванням основних результатів (положень) проведених досліджень щіткових очисних робочих органів і згідно з конструктивними міркуваннями.

Пучки ворсу із полімерних матеріалів формували наступним чином: суцільну заготовку відповідної довжини перегинали навпіл, а поруч з нею формували другу перегнуту навпіл заготовку і т. д. Кількість ворсин у пучку становила 150 шт., який мав вигляд послідовно розташованих один за одним 3-х рядів очисних елементів по 50 шт. у кожному ряді. Пучки ворсу за допомогою притискних пластин закріплювалися до труби барабана шнека у просторі між його витками.

Інші технічні характеристики робочих органів КМ відповідали базовим показника, а загальна технічна характеристика конструктивно-кінематичних параметрів удосконаленої і серійної КМ МКК-6 наведена у додатку В 2.1.

При проведенні порівняльних випробувань визначали показники якості

роботи удосконаленої КМ МКК-6, обладнаної КОС, і серійної базової машини у двох випадках:

- при демонтованих з міжвиткового простору шнека очисних пружних елементів і встановлених позаду нього відминальних вальців;
- із закріпленими у міжвитковому просторі очисними пружними елементами та встановленими відминальними вальцями.

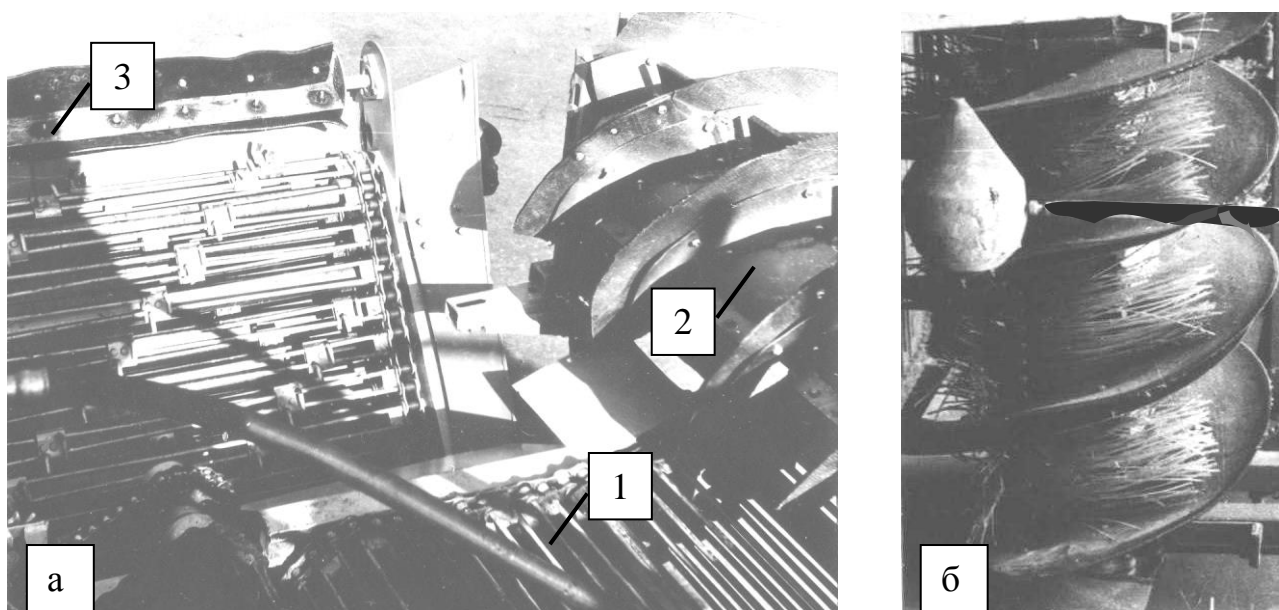


Рис. 3.7. Загальний вигляд: а – КОС без очисних пружних елементів, вигляд зверху; б – шнека з очисними пружними елементами; 1 – горизонтальний транспортер; 2 – шнек; 3 – очисна гірка

Переобладнання удосконаленої КМ МКК-6 у базову (серійну) відбувалося наступним чином. З основної рами машини демонтували горизонтальний транспортер 1 (рис. 3.7), а привод очисної гірки 3, тобто гідромотор, відключали від гідросистеми трактора. Викопаний ворох кормових буряків з похилого транспортера 6 (рис. 3.4) надходив на поперечний транспортер 9 бункера-накопичувача, а далі – на вивантажувальний транспортер 10.

Умови випробувань машин, що порівнювалися, та характеристика плантації насаджень кормових буряків наведено у табл. 1.В.4.4 додатку В.4.4.

Порядок проведення порівняльних досліджень був регламентований згідно з положеннями [129]. Умови випробувань, які були однаковими для обох машин, та показники якості роботи переобладнаної КОС і серійної КМ

визначали згідно з КД 46.16.01.005-93 “Випробування сільськогосподарської техніки” та „Методика проведення випробувань коренезбиральних машин для збирання кормових буряків”, розробленої на базі галузевого стандарту ОСТ 70.8.6-83 “Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки сахарной свеклы. Программа и методика испытаний” [128, 129].

Порядок проведення, умови відбору проб і визначення показників якості роботи технологічного процесу збирання коренеплодів кормових буряків удосконаленою і серійною КМ МКК-6 проводили за стандартними методиками згідно з встановленими положеннями [128, 129, 148].

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Обґрунтування поправочного коефіцієнта та уточнення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків

Для обґрунтування поправочного коефіцієнта λ_s , який регламентує уточнення теоретичних залежностей (2.26-2.29) маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків і підтвердження їх основних положень щодо встановлення закономірності зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів, провели лабораторно-польові експериментальні дослідження (додаток В 3.2), реалізацію яких здійснювали згідно з методикою, яку наведено у розділі 3, підрозділ 3.2.

Загальний вигляд агрегату для викопування коренеплодів наведено на рис. 4.1, а його конструктивна схема та загальний вигляд викопуючого робочого органу, відповідно, – на рис. 3.1, 3.2, б.

Коренеплоди кормових буряків після викопування (рис. 4.2, а) відбирали з утвореного валка, при цьому обробку одержаного масиву експериментальних даних провели згідно з відомими положеннями [128, 148] і методикою, яка також наведена у підрозділі 3.2.

Для побудови емпіричної математичної моделі, яка характеризує зміну поправочного коефіцієнта λ_s та уточненої маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних кормових буряків, утворювали таблиці одержаних результатів точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 (табл. 1.Г.1.1, табл. 2.Г.1.1 додатку Г.1.1), які побудовано згідно з табл. 3.2, та таблицю вибірки вимірів λ_{1s} як відношення площ $\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$ (табл. 3.Г.1.1 додатку Г.1.1).

На першому етапі обробки одержаного масиву експериментальних даних провели дослідження характеру зміни поправочного коефіцієнта λ_{1s} , який

визначили як відношення сумарної площі з налиплим ґрунтом на бічній поверхні тіла до загальної площі підземної бічної поверхні тіла коренеплоду згідно з (3.2), за результатами даних, які наведені у табл. 1.Г.1.1 додатку Г.1.1.



Рис. 4.1. Агрегат для викопування кормових буряків

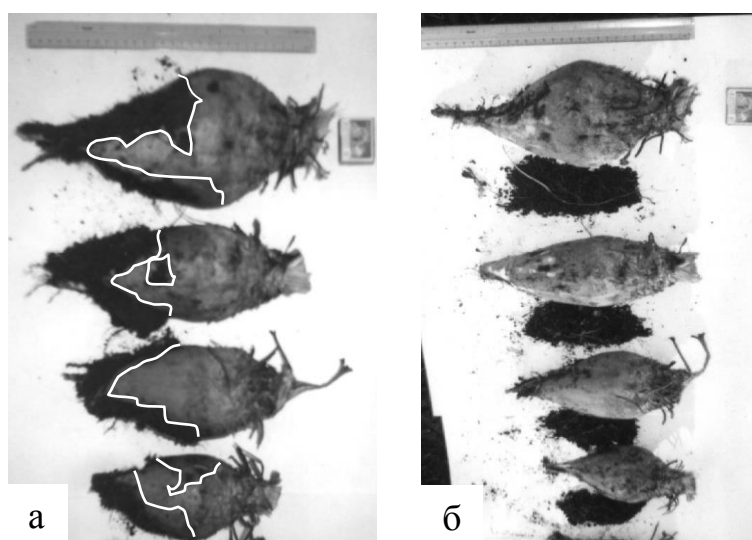


Рис. 4.2. Вигляд кормових буряків:

а – після викопування; б – очищені від налиплого ґрунту

Апроксимуючу функцію параметра оптимізації, адекватність якої перевіряли згідно з положеннями (3.6-3.10), тобто характер зміни поправочного коефіцієнта λ_s , визначеного експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома [151]

$$\lambda_s = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (4.1)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти відповідних значень x_i ;

x_1, x_2 – відповідні кодовані фактори.

Після визначення коефіцієнтів і оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння (4.1) було одержано кінцевий вигляд рівняння регресії зміни поправочного коефіцієнта λ_{1S} залежно від коефіцієнта пропорційності k_ρ і загальної довжини коренеплоду L_k у кодованих величинах як функціонала $\lambda_{1S} = f(k_\rho; L_k)$ за результатами проведеного ПФЕ 3² [151]

$$\lambda_{1S} = 0,28 + 0,77x_1 - 0,02x_2 - 0,04x_1x_2 + 0,0002x_2^2. \quad (4.2)$$

Для переходу від кодованих до натуральних значень змінних факторів визначали для кожного фактора нульовий рівень згідно з (3.3) та інтервали варіювання згідно з (3.4):

– для коефіцієнта пропорційності k_ρ :

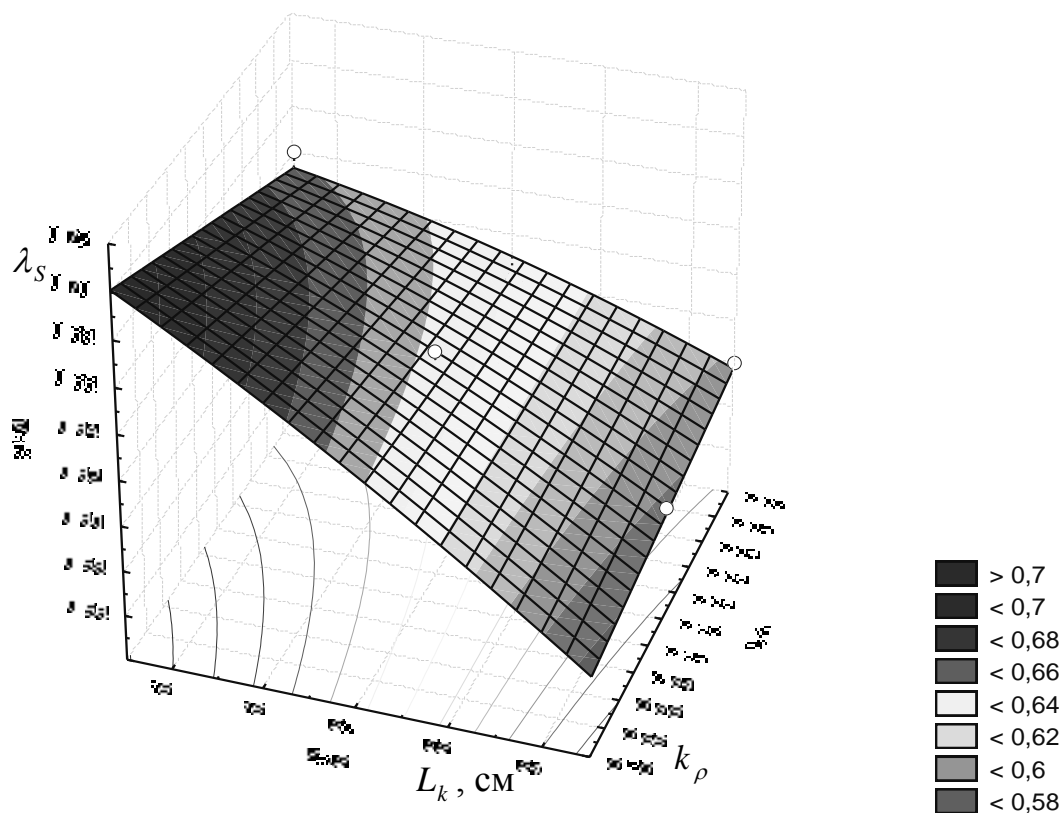


Рис. 4.3. Поверхня відгуку $\lambda_S = f(k_\rho; L_k)$

$$x_{01} = (0,5 + 0,7)/2 = 0,6; \quad \Delta x_1 = (0,7 - 0,5)/2 = 0,1; \quad (4.3)$$

– для загальної довжини коренеплоду L_k :

$$x_{02} = (25 + 15)/2 = 20 \text{ (см)}; \quad \Delta x_2 = (25 - 15)/2 = 5 \text{ (см)}. \quad (4.4)$$

Відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії (4.2) згідно з рівнянням (3.5) має вигляд:

$$\lambda_{1S} = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i \left(\frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i} \right) + b_{12} \left(\frac{x_1 - x_{01}}{\Delta x_1} \right) \left(\frac{x_2 - x_{02}}{\Delta x_2} \right) + b_{22} \left(\frac{x_2 - x_{02}}{\Delta x_2} \right)^2, \quad (4.5)$$

або після підстановки відповідних значень (4.3), (4.4) у (4.5) маємо:

$$\begin{aligned} \lambda_{1S} = & 0,28 + 0,77 \left(\frac{k_\rho - 0,6}{0,1} \right) - 0,02 \left(\frac{L_k - 20}{5} \right) - \\ & - 0,04 \left(\frac{k_\rho - 0,6}{0,1} \right) \left(\frac{L_k - 20}{5} \right) + 0,0002 \left(\frac{L_k - 20}{5} \right)^2. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Після спрощення виразу (4.6) одержано регресійну залежність у натуральних величинах, яка може бути використана для визначення поправочного коефіцієнта λ_{1S} залежно від зміни коефіцієнта пропорційності k_ρ і загальної довжини коренеплоду L_k у межах $0,5 \leq k_\rho \leq 0,7$; $15 \leq L_k \leq 25$ (см):

$$\lambda_S = -5,2 + 9,3k_\rho + 4,4 \cdot 10^{-2} L_k - 8,0 \cdot 10^{-2} k_\rho L_k + 8,0 \cdot 10^{-6} L_k^2 \quad (4.7)$$

Аналіз одержаних рівнянь регресії (4.2), (4.7) та побудованої поверхні відгуку (рис. 4.3) як функції $\lambda_{1S} = f(k_\rho; L_k)$ показує, що основний масив експериментальних значень поправочного коефіцієнта λ_{1S} знаходиться у межах 0,6...0,7 та також підтверджується аналізом побудованої об'ємної тривимірної діаграми розподілу основного експериментального масиву λ_{1S} (рис. 1.Г.2.1 додатку Г.2.1), при цьому конкретизоване числове значення основного масиву

поправочного коефіцієнта $\lambda_{1S} \cong 0,66$ забезпечується для встановлених меж зміни коефіцієнта пропорційності $0,5 \leq k_\rho \leq 0,7$ і довжини кормових буряків $L_k \cong 18,0$ см (рис. 4.4), а також для встановлених меж зміни загальної довжини коренеплодів $15 \leq L_k \leq 25$ (см) і $k_\rho \cong 0,6 \dots 0,63$ (рис. 2.Г.2.1 додатка Г.2.1).

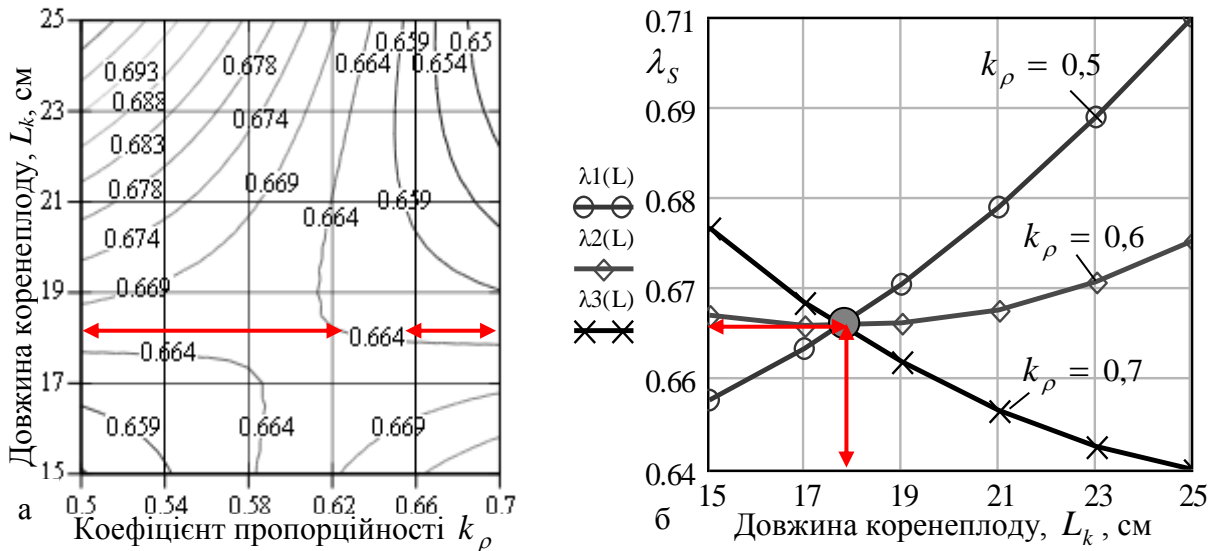


Рис. 4.4. Залежність зміни поправочного коефіцієнта λ_S :

а – залежність $\lambda_{1S} = f(k_\rho; L_k)$; б – залежність $\lambda_{1S} = f(L_k)$

Крім того, характер зміни поправочного коефіцієнта λ_S залежно від окремих діючих факторів відбувається по-різному. При збільшенні довжини коренеплодів L_k і значенні коефіцієнта пропорційності $k_\rho = 0,5$ та збільшенні коефіцієнта пропорційності k_ρ і значенні довжини коренеплодів $L_k \leq 15$ см поправочний коефіцієнт λ_{1S} , відповідно, зростає від 0,659 до 0,71 (рис. 4.4, а; крива $\lambda_1(L)$ рис. 4.4, б) та від 0,659 до 0,678 (рис. 4.4, а; крива $\lambda_4(k)$ рис. 2.Г.2.1 додатка Г.2.1). При значенні $k_\rho = 0,6$ поправочний коефіцієнт λ_{1S} збільшується у незначних межах – від 0,665 до 0,674 (рис. 4.4, а; крива $\lambda_2(L)$ рис. 4.4, б), а при значенні $k_\rho = 0,7$ значно зменшується – від 0,678 до 0,64 (рис. 4.4, а; крива $\lambda_3(L)$ рис. 4.4, б; крива $\lambda_6(k)$ рис. 2.Г.2.1 додатка Г.2.1).

Апроксимуючу функцію маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних кормових буряків $m_{1a\rho}^e$ знаходили у вигляді математичної моделі

повного квадратного полінома згідно з залежністю (4.1).

У результаті обробки експериментальних даних (графа 7 табл. 2.Г.1.1 додатку Г.1.1), попередньо визначивши питому масу ґрунту $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$, та після перевірок адекватності вибраної математичної моделі реальному процесу та значущості визначених коефіцієнтів отримали кінцеві рівняння регресії маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів $m_{1a\rho}^e$ у кодованих факторах і натуральних величинах, які характеризують вплив двох змінних факторів на параметр оптимізації як функціонал $m_{1a\rho}^e = f(k_\rho; L_k)$ [151]

$$m_{1a\rho}^e = 83,1 - 289,8x_1 - 2,3x_2 + 9,9x_1x_2 + 175,0x_1^2; \quad (4.8)$$

$$m_{1a\rho}^e = 4890,8 - 18498,0k_\rho - 12,3L_k + 19,8k_\rho L_k + 17500,0k_\rho^2. \quad (4.9)$$

Побудовані регресійні залежності (4.8), (4.9) регламентують характер зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків конусної

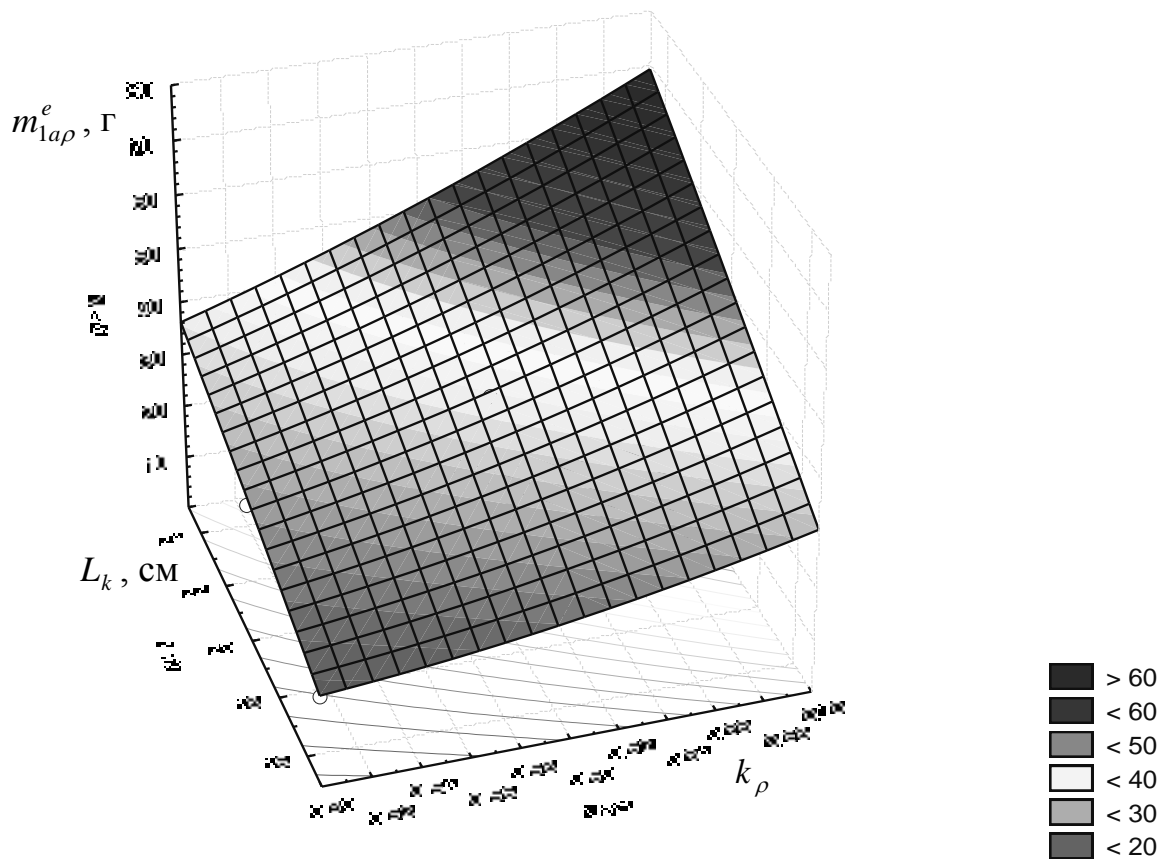


Рис. 4.5. Поверхня відгуку $m_{1a\rho}^e = f(k_\rho; L_k)$

форми m_{1ap}^e після їх викопування залежно від коефіцієнта пропорційності k_ρ та довжини коренеплідів L_k у межах варіювання факторів $0,5 \leq k_\rho \leq 0,7$; $15 \leq L_k \leq 25$ (см). Графічна реалізація характеру зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків відтворена побудованими поверхнею відгуку та об'ємною тривимірною діаграмою розподілу основного експериментального масиву m_{1ap}^e , які наведено на рис. 4.5 та рис. 1.Г.3.1 додатку Г.3.1.

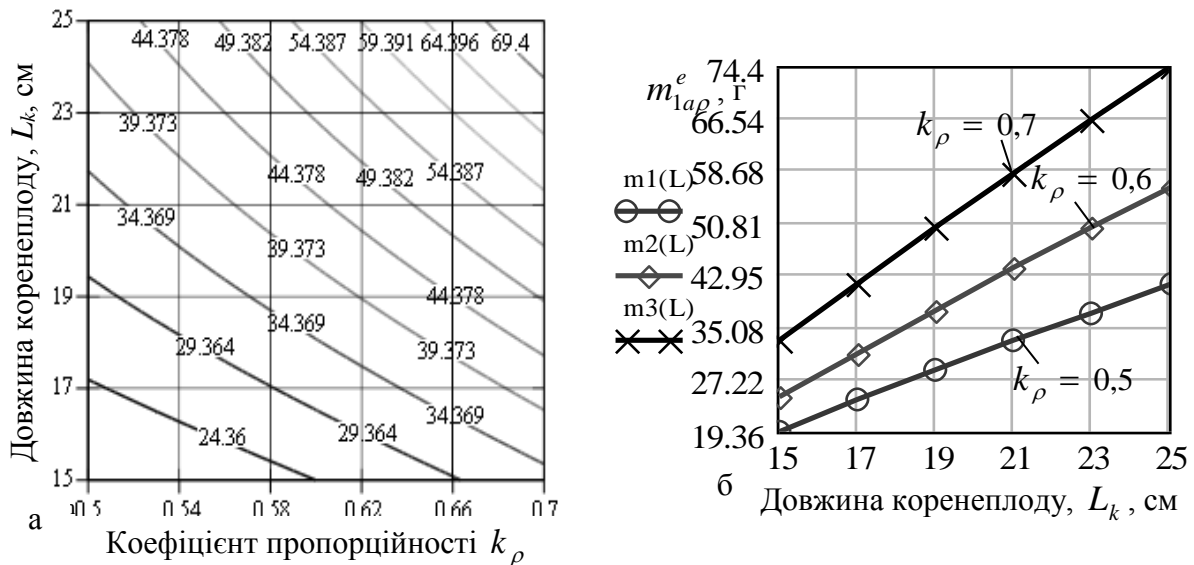


Рис. 4.6. Залежність зміни m_{1ap}^e :

а – залежність $m_{1ap}^e = f(k_\rho; L_k)$; б – залежність $m_{1ap}^e = f(L_k)$

Основними факторами апроксимуючої функції $m_{1ap}^e = f(k_\rho; L_k)$, які впливають на характер зміни параметра оптимізації є коефіцієнт пропорційності k_ρ і довжина коренеплідів L_k – їх збільшення у межах варіювання факторів призводить до значного приросту (в середньому на 15,0...20,0 г) маси налиплого ґрунту m_{1ap}^e на бічній поверхні тіла кормових буряків конусної форми, при цьому m_{1ap}^e зростає від 20,0 до 75,0 г (рис. 4.6 та рис. 2.Г.3.1 додатку Г.3.1).

Можна констатувати, що для середніх значень розмірно-масових параметрів основного масиву кормових буряків конусної форми, тобто

урожайності 500,0...550,0 ц/га, загальної довжини $17,0 \leq L_{kc} \leq 20,0$ см та їх залягання в ґрунті на $(1/2...2/3)L_k$ ($k_p = 0,5...0,67$) [5, 119, 152, 153], значення маси налиплого ґрунту m_{1ap}^e на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів знаходиться в межах 25,0...50,0 г.

Для проведення порівняльного аналізу розбіжностей отриманих теоретичних значень (рис. 2.4) і експериментального розподілу випадкових величин маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів необхідно обґрунтувати (встановити) значення поправочного коефіцієнта λ_s , який вираховували арифметично як числове відношення експериментальних значень m_{1ap}^e граничних точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 (колонки 4-7 табл. 2.Г.1.1 додатку Г.1.1) до теоретичних значень m'_{1ap} відповідних точок побудованих теоретичних залежностей, які наведено на рис. 2.4.

Одержані значення поправочного коефіцієнта λ_s заносили у відповідні графи граничних точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 (колонки 8-11 табл. 2.Г.1.1 додатку Г.1.1).

Апроксимуючу функцію поправочного коефіцієнта λ_s знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома згідно з (4.1).

У результаті обробки експериментальних даних (графа 11 табл. 2.Г.1.1 додатку Г.1.1) і після перевірок адекватності вибраної математичної моделі реальному процесу та значущості визначених коефіцієнтів отримали кінцеві рівняння регресії поправочного коефіцієнта λ_s у кодованих і натуральних величинах, які характеризують вплив двох змінних факторів на параметр оптимізації як функціонал $\lambda_s = m_{1ap}^e / m'_{1ap} = f(k_p; L_k) / m'_{1ap}$ [151]

$$\lambda_s = 0,78 - 0,1x_1 + 0,004x_2 - 0,0004x_2^2; \quad (4.10)$$

$$\lambda_s = 1,36 - k_p + 1,44 \cdot 10^{-3} L_k - 1,6 \cdot 10^{-5} L_k^2. \quad (4.11)$$

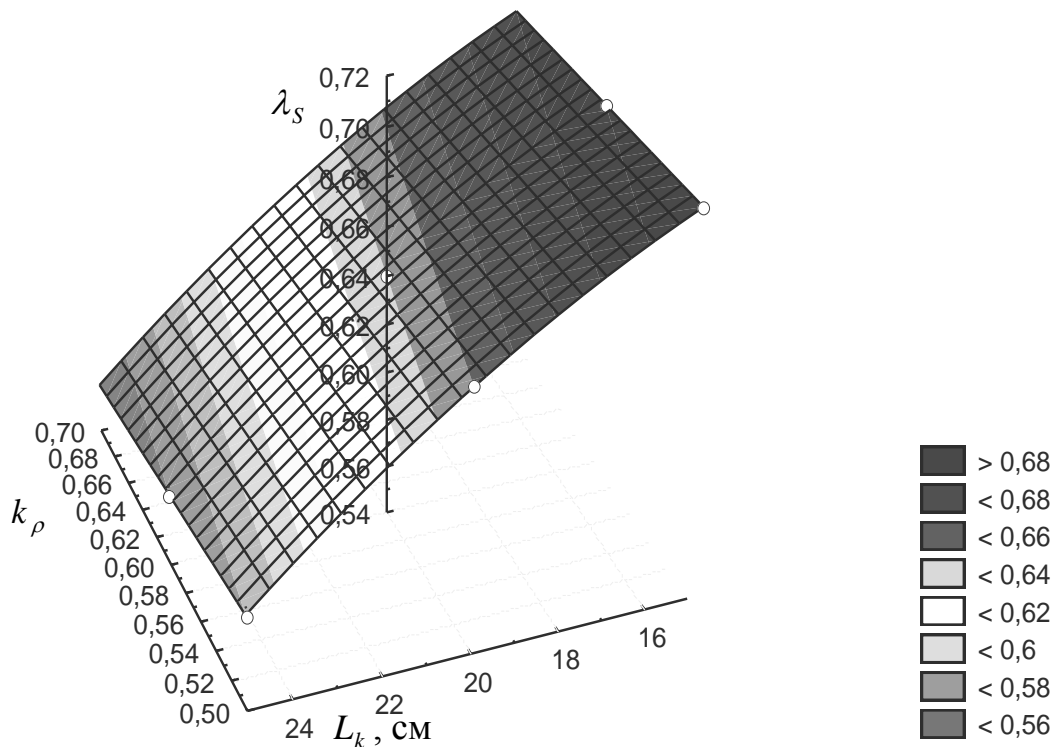


Рис. 4.7. Поверхня відгуку $\lambda_s = m_{1a\rho}^e / m'_{1a\rho} = f(k_\rho; L_k) / m'_{1a\rho}$

Згідно з рівняннями регресії (4.10), (4.11) побудовано поверхню відгуку залежності поправочного коефіцієнта λ_s від зміни коефіцієнта пропорційності k_ρ і довжини коренеплоду L_k у межах $0,5 \leq k_\rho \leq 0,7$; $15 \leq L_k \leq 25$ (см), яку наведено на рис. 4.7. На рис. 4.8, а наведено контурні лінії рівня розподілу поправочного коефіцієнта λ_s ; на рис. 4.8, б – залежність зміни $\lambda_s = \frac{f(L_k)}{m'_{1a\rho}}$.

Аналіз побудованого апроксимуючого графічного відтворення залежності зміни поправочного коефіцієнта λ_s показує, що зміна λ_s має зворотно пропорційний характер – зі збільшенням коефіцієнта пропорційності k_ρ і довжини коренеплоду L_k поправочний коефіцієнт λ_s зменшується від 0,7 до 0,56 (рис. 4.7; 4.8; рис. 3.Г.3.1 додатка Г.3.1), причому зміна λ_s залежно від симетричної зміни k_ρ має чітко виражений асиметричний характер зміни – λ_s зменшується на постійну величину $\Delta\lambda_s = \text{const} \cong 0,01$ (рис.4.8, б).

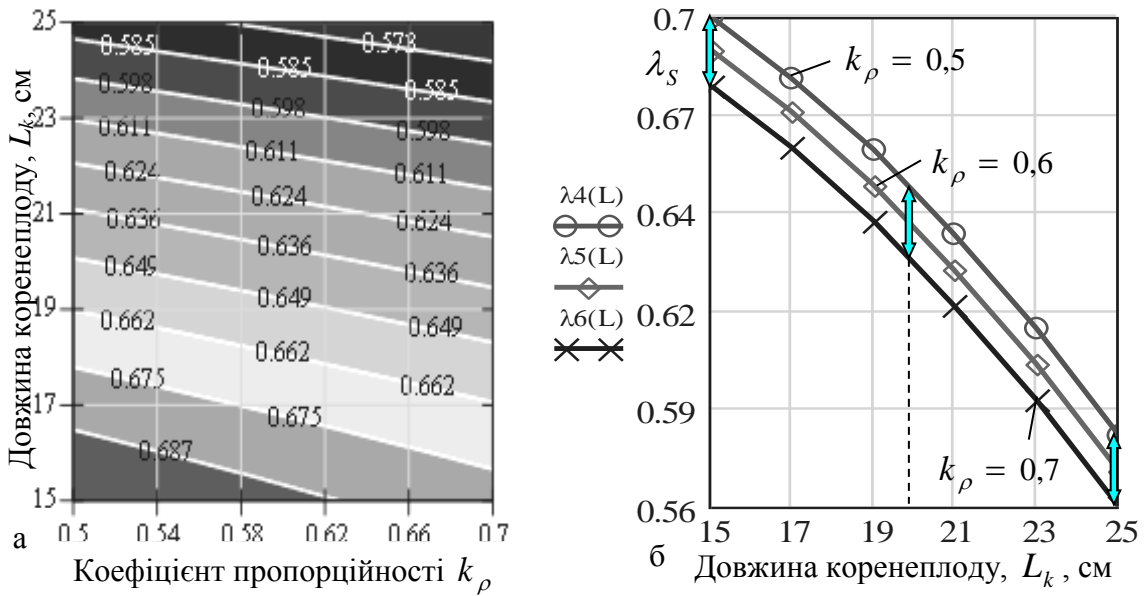


Рис. 4.8. Залежність зміни поправочного коефіцієнта λ_s :

а – залежність $\lambda_s = \frac{f(k_\rho; L_k)}{m'_{1ap}}$; б – залежність $\lambda_s = \frac{f(L_k)}{m'_{1ap}}$

Залежно від довжини кормових буряків поправочний коефіцієнт λ_s змінюється наступним чином (рис. 3.Г.3.1 додатка Г.3.1): для $L_k = 15,0$ см – у межах 0,68...0,7 (середнє значення $\lambda_{Sc}^{15} = 0,69$); для $L_k = 20,0$ см – у межах 0,63...0,65 (середнє значення $\lambda_{Sc}^{20} = 0,64$); для $L_k = 25,0$ см – у межах 0,56...0,58 (середнє значення $\lambda_{Sc}^{25} = 0,57$).

Тоді, враховуючи (2.26), можна записати, що:

$$\left. \begin{aligned} m_{1ap}^{15} &= \pi\rho(0,68...0,7) \left\{ \frac{L_k^3 k_\rho^3 (1 - 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} [2L_k k_\rho \delta + \delta^2 (1 + 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)] \right\}; \\ m_{1ap}^{20} &= \pi\rho(0,63...0,65) \left\{ \frac{L_k^3 k_\rho^3 (1 - 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} [2L_k k_\rho \delta + \delta^2 (1 + 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)] \right\}; \\ m_{1ap}^{25} &= \pi\rho(0,56...0,58) \left\{ \frac{L_k^3 k_\rho^3 (1 - 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} [2L_k k_\rho \delta + \delta^2 (1 + 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)] \right\} \end{aligned} \right\} \cdot (4.12)$$

Для практичного використання залежностей (4.12) при визначенні теоретичного значення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових

буряків $m_{1a\rho}$ конусної форми, які залягають у ґрунті на відстані $(1/2 \dots 2/3)L_k$ ($k_\rho = 0,5 \dots 0,67$) після їх викопування, можна застосувати усереднене значення поправочного коефіцієнта $\lambda_{sc} = 0,63$.

Тоді узагальнена залежність, яка характеризує зміну теоретичного значення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків $m_{1a\rho}$ має вигляд:

$$m_{1a\rho} = 0,63\pi\rho \left\{ \frac{L_k^3 k_\rho^3 (1 - 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} [2L_k k_\rho \delta + \delta^2 (1 + 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)] \right\}. \quad (4.13)$$

Аналіз побудованої теоретичної (згідно з (4.13) та згідно з (4.11) експериментальної залежностей зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків після їх викопування показує, що розбіжність значень маси налиплого ґрунту, отриманих теоретично $m_{1a\rho}$ та експериментально $m_{1a\rho}^e$ знаходиться у межах 7,0...12,5 % (рис. 4.9).

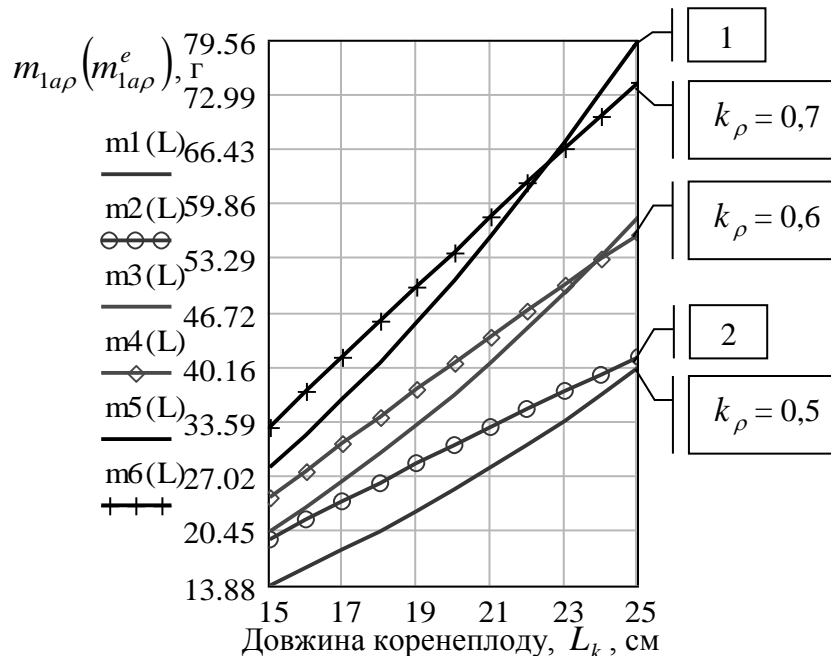


Рис. 4.9. Залежність зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків конусної форми після їх викопування:

- 1 – теоретичне значення, $m_{1a\rho} = f(L_k)$;
- 2 – експериментальне значення, $m_{1a\rho}^e = f(L_k)$

Для підтвердження вірогідності розподілу значень поправочного коефіцієнта λ_S , визначеного за емпіричною залежністю та експериментального масиву, або оцінки випадкового розходження між емпіричним і експериментальним параметрами розподілу було проведено обробку експериментального масиву генеральної вибірки (табл. 3.Г.3.1 додатку Г.3.1) з метою встановлення функціонального розподілу значень випадкових величин поправочного коефіцієнта λ_S згідно зі стандартною методикою [147].

У результаті обробки було побудовано гістограму частот значень поправочного коефіцієнта λ_S , яка зображує диференційний закон розподілення випадкової величини (рис. 4.10), або щільність розподілення поправочного коефіцієнта λ_S .

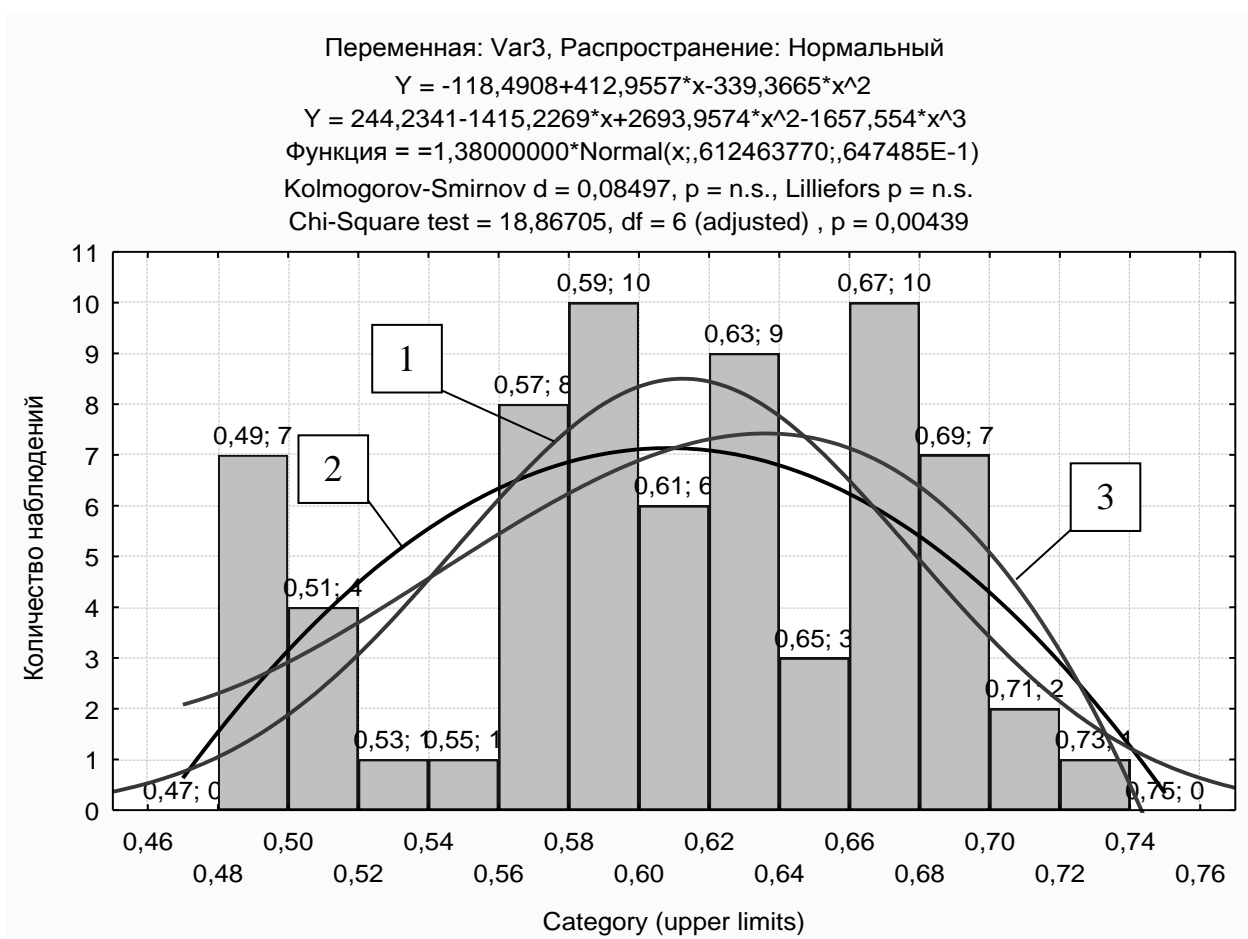


Рис. 4.10. Гістограма щільності розподілення поправочного коефіцієнта λ_S :
 1 – усічений нормальний закон розподілу; 2 – квадратичний закон розподілу;
 3 – кубічний закон розподілу

Аналіз рис. 4.10 показує, що закон розподілення поправочного коефіцієнта λ_s близький до усіченого нормального (крива 1), щільність імовірності розподілу якого у загальному випадку має вигляд [6]:

$$f(x) = f\left(\frac{\sum S_p}{\sum S_{k.n}}\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad (4.14)$$

де $\sigma = 0,61$ - середнє квадратичне відхилення;

$\mu = 0,065$ - математичне сподівання.

Перевірка гіпотези про нормальний розподіл вибіркової сукупності випадкової величини необхідна для підтвердження або відхилення нульової гіпотези про розподіл випадкової величини та належність вибіркової сукупності до генеральної.

Перевірка відповідності розподілу випадкової величини нормальному закону розподілу поправочного коефіцієнта λ_s проведена за критерієм відповідності Колмогорова-Смирнова $K(\lambda)$ (рис.4.10).

4.2. Результати експериментальних досліджень пошкодження кормових буряків

Підвищення основних показників якості роботи машин для збирання кормових буряків і зниження загальних пошкоджень коренеплодів досягається шляхом застосування КОС [59, 118]. У процесі роботи очисника відбувається ударна взаємодія коренеплоду з витком шнека.

Для встановлення закономірності зміни пошкодження коренеплодів залежно від параметрів системи було проведено експериментальні дослідження процесу співудару коренеплодів 11 з витком 13 шнека 12 з використанням сферичного маятникового копра (рис. 3.3). Загальний вигляд лабораторної установки наведено на рис. 4.11. Методику проведення експериментальних досліджень наведено в підрозділі 3.3 розділу 3.

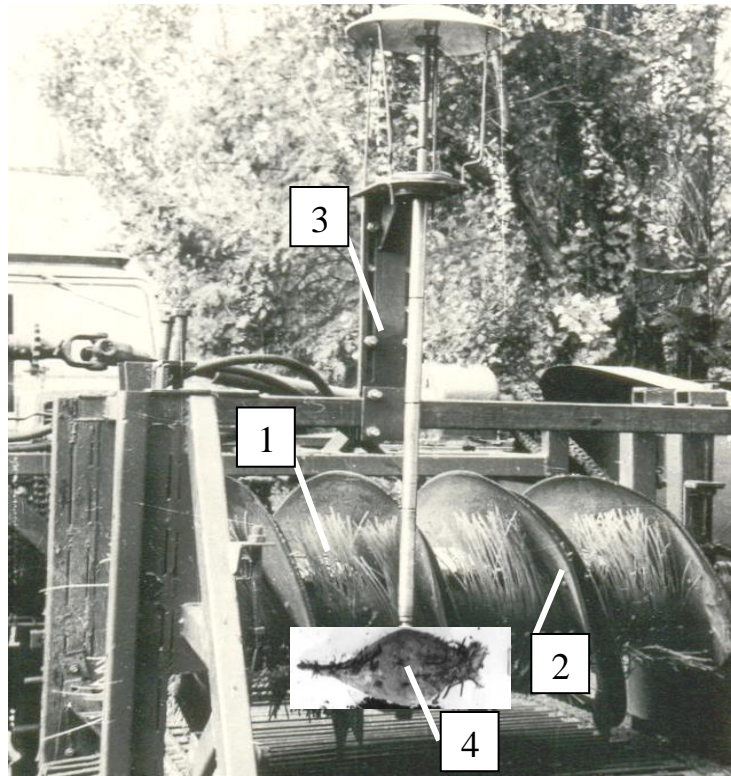


Рис. 4.11. Загальний вигляд лабораторної установки:

1 – шнек; 2 – виток шнека; 3 – маятниковий копер; 4 – коренеплід

Експериментальні дослідження пошкодження коренеплодів 4 залежно від їх швидкості співудару з витком 2 шнека 3 (рис. 4.11) провели на основі реалізації трифакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 . Крок шнека був постійним і становив $T = 0,7$ м, кут підйому гвинтової лінії $\beta = 27,5$ град. Результати пошкоджень коренеплодів у точках композиційного плану матриці експерименту типу ПФЕ 3^3 наведено у табл. 1.Г.4.2 додатку Г.4.2. Характер пошкодження кормових буряків визначали за утвореною глибиною рани h_n тіла коренеплодів: сильнопошкоджені – коли глибина рани тіла коренеплодів становила $h_n > 30$ мм; слабопошкоджені – коли $10 \leq h_n \leq 30$ (мм) [128].

Параметр оптимізації, тобто зміну пошкоджень коренеплодів (глибини рани тіла кормових буряків h_n) залежно від трьох факторів (частоти обертання шнека $n \rightarrow x_1$, діаметра шнека $D \rightarrow x_2$, маси коренеплодів $m_k \rightarrow x_3$ при початковій швидкості співудару $V_e = 1,6$ м/с), визначених експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі логарифмічної функції [139]

$$h_n = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln x_3, \quad (4.15)$$

де h_n – глибина пошкодження на тілі коренеплоду, мм;

b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти відповідних значень x_i ;

x_1, x_2, x_3 – відповідні кодовані фактори.

Після обробки експериментальних даних і оцінки статистичної значущості одержаних коефіцієнтів рівняння (4.51) та перевірки адекватності теоретичного розподілу випадкових величин математичної моделі реальному процесу за відповідними критеріями Фішера і Стюдента одержали емпіричне рівняння регресії, яке характеризує залежність пошкодження коренеплодів кормових буряків від одночасної зміни трьох факторів та безпосередній рівень впливу кожного фактора на зміну величини параметра оптимізації у наступних межах зміни факторів: частоти обертання шнека $50,0 \leq n \leq 150,0$ об/хв; діаметра шнека $0,4 \leq D \leq 0,8$ м; маси коренеплодів $1,0 \leq m_k \leq 2,0$ кг [139]

$$h_n = -67,15 + 20,32 \ln x_1 + 21,22 \ln x_2 + 20,05 \ln x_3. \quad (4.16)$$

Для переходу від кодованих до натуральних значень змінних факторів визначали нульовий рівень і інтервали варіювання кожного фактора згідно з (3.3), (3.4):

– для частоти обертання шнека n , об/хв:

$$x_{01} = (50 + 150)/2 = 100; \quad \Delta x_1 = (150 - 50)/2 = 50;$$

– для діаметра шнека D , м:

$$x_{02} = (0,4 + 0,8)/2 = 0,6; \quad \Delta x_2 = (0,8 - 0,4)/2 = 0,2;$$

– для маси коренеплоду m_k , кг:

$$x_{03} = (1 + 2)/2 = 1,5; \quad \Delta x_3 = (2 - 1)/2 = 0,5.$$

Відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії

(4.16) згідно з рівняннями (3.5) має вигляд:

$$h_n = -67,15 + 20,32 \ln(n - 100) + 21,22 \ln(5D - 2,5) + 20,05 \ln(2m_k - 3). \quad (4.17)$$

За одержаним рівнянням регресії (4.17) побудовано номограму (рис. 4.12) прогнозування ймовірного пошкодження тіла кормових буряків відповідних розмірно-масових характеристик сорту «Київський» залежно від встановлених параметрів КОС.

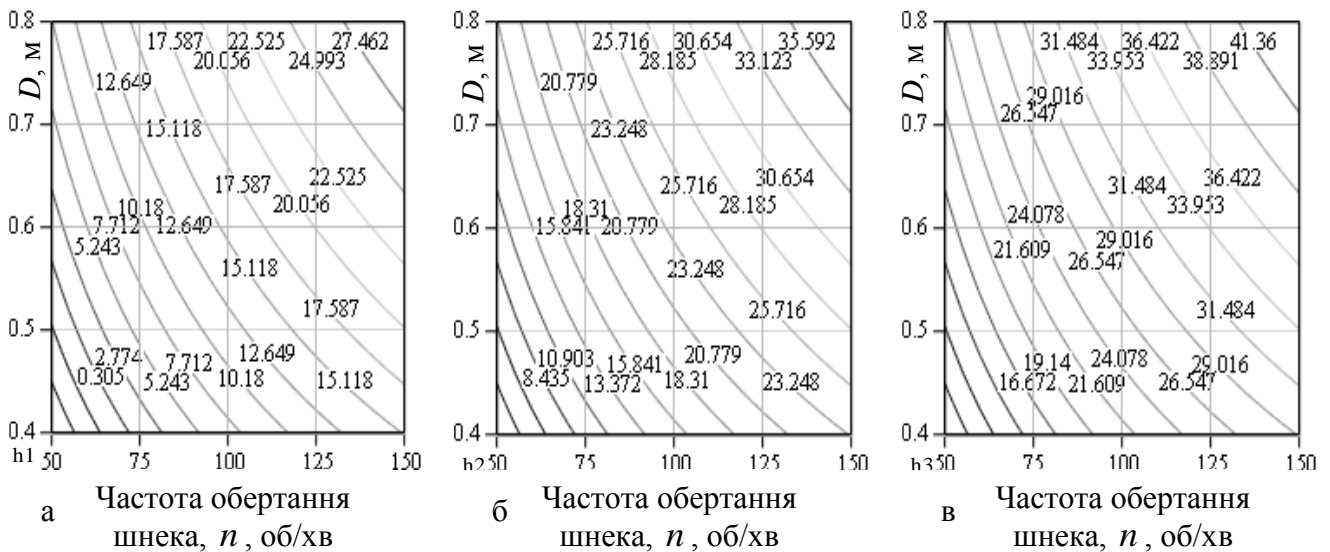


Рис. 4.12. Номограма прогнозування ймовірних пошкоджень коренеплодів:

а – $m_k = 1,0$ кг; б – $m_k = 1,5$ кг; в – $m_k = 2,0$ кг

Користуються номограмою наступним чином. Наприклад, при вибраних параметрах шнека, частоті обертання $n = 100$ об/хв та діаметрі $D = 0,6$ м, ймовірна прогнозована глибина рани тіла кормових буряків масою $m_k = 1,0$ кг буде становити біля 15 мм, $m_k = 1,5$ кг – біля 23 мм, $m_k = 2,0$ кг – біля 29 мм, що відповідає слабопошкодженим коренеплодам.

Загальний характер залежності зміни глибини рани тіла кормових буряків конкретизованої маси $m_k = 1,0-1,5-2,0$ (кг) у діапазоні $10 \leq h_n \leq 30$ мм (слабопошкодженні коренеплоди) реалізовано на основі побудови, обмежених даним діапазоном поверхонь відгуку (рис. 4.13), а характер зміни повного діапазону пошкоджень тіла кормових буряків відображено на побудованій об'ємній діаграмі, яку наведено на рис. 1.Г.5.2 додатку Г.5.2.

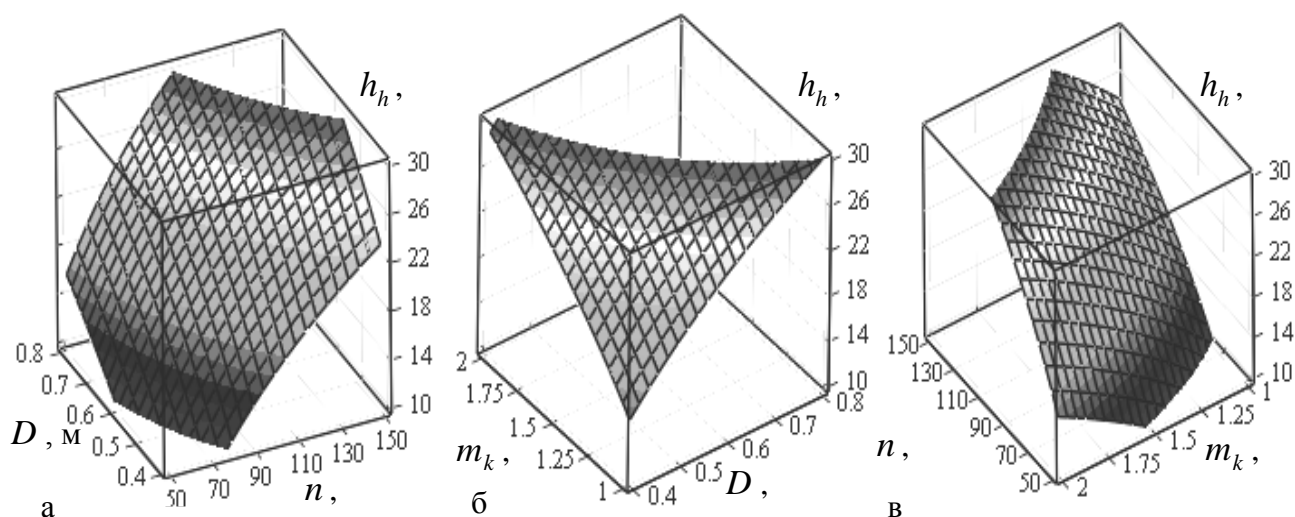


Рис. 4.13. Поверхня відгуку зміни $10 \leq h_n \leq 30$ мм, як функції:

$$a - h_n = f(D, n); \quad б - h_n = f(D, m_k); \quad в - h_n = f(n, m_k)$$

Межа сильнопошкоджених коренеплодів ($h_n > 30$ мм) настає при наступних значеннях параметрів шнека (рис. 1.Г.5.2 додатка Г.5.2):

- для коренеплодів $m_k = 1,0$ кг – при значеннях $n \geq 150$ об/хв, $D \geq 0,8$ м;
- для коренеплодів $m_k = 1,5$ кг – при значеннях $n \geq 100$ об/хв, $D \geq 0,8$ м;
 $n \geq 120$ об/хв, $D \geq 0,7$ м; $n \geq 150$ об/хв, $D \geq 0,6$ м;
- для коренеплодів $m_k = 2,0$ кг – при значеннях $n \geq 80$ об/хв, $D \geq 0,8$ м;
 $n \geq 90$ об/хв, $D \geq 0,7$ м; $n \geq 110$ об/хв, $D \geq 0,6$ м; $n \geq 130$ об/хв, $D \geq 0,5$ м.

Відповідно, при менших значеннях наведених вище параметрів шнека відповідних комбінацій частоти обертання n та діаметра D шнека, глибина рани тіла коренеплодів h_n буде відповідати характеристикам меж слабопошкоджених коренеплодів, або умові $10 \leq h_n \leq 30$ мм.

Результати наведеного аналізу ймовірних пошкоджень тіла кормових буряків при їх взаємодії з витком шнека КОС також підтверджуються аналізом наведених графічних залежностей $h_n = f(D, n)$, $h_n = f(D, m_k)$, $h_n = f(n, m_k)$ (рис. 4.13) та $h_n = f(n)$ (рис. 4.14).

Насправді, при наявності ґрунтового пружного середовища між витком шнека та тілом коренеплодів у момент їх співудару, накладені вище обмеження

параметрів шнека КОС можуть бути скореговані у сторону їх збільшення залежно від секундної подачі надходження на КОС ґрунтових домішок, при цьому товщина шару пружного ґрунтового середовища буде «регулювати» глибину рани тіла кормових буряків, тобто цей процес буде не постійним (не стаціонарним) і матиме випадковий характер.

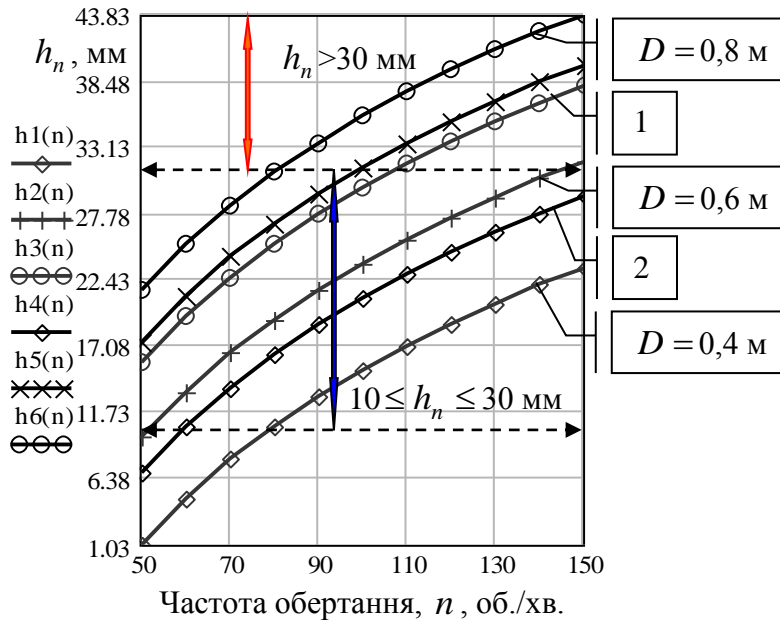


Рис.4.14. Залежність глибини пошкодження коренеплодів h_n від частоти обертання шнека КОС:

1 – коренеплоди масою $m_k = 1,5$ кг; 2 – коренеплоди масою $m_k = 2,0$ кг

Також, для аналітичного опису прогнозування ймовірних пошкоджень тіла кормових буряків було одержано конкретизовані рівняння регресії, які характеризують зміну глибини рани h_n конкретизованої маси коренеплодів залежно від частоти обертання та діаметра шнека як функціонала $h_n^i = f(n, D)$, емпіричний вигляд якого, після відповідної перевірки адекватності теоретичного розподілу випадкових величин математичної моделі реальному процесу за критеріями Фішера і Стюдента, описується поліномом другого степеня [139]:

$$\left. \begin{aligned} h_n^{1.0} &= 23,83 - 0,41x_1 - 55,83x_2 + 0,63x_1x_2 + 0,001x_1^2 + 25,0x_2^2; \\ h_n^{1.5} &= 15,94 - 0,01x_1 - 83,33x_2 + 0,28x_1x_2 + 0,0003x_1^2 + 70,83x_2^2; \\ h_n^{2.0} &= 7,61 + 0,18x_1 - 63,33x_2 + 0,23x_1x_2 + 0,0005x_1^2 + 78,57x_2^2 \end{aligned} \right\}. \quad (4.18)$$

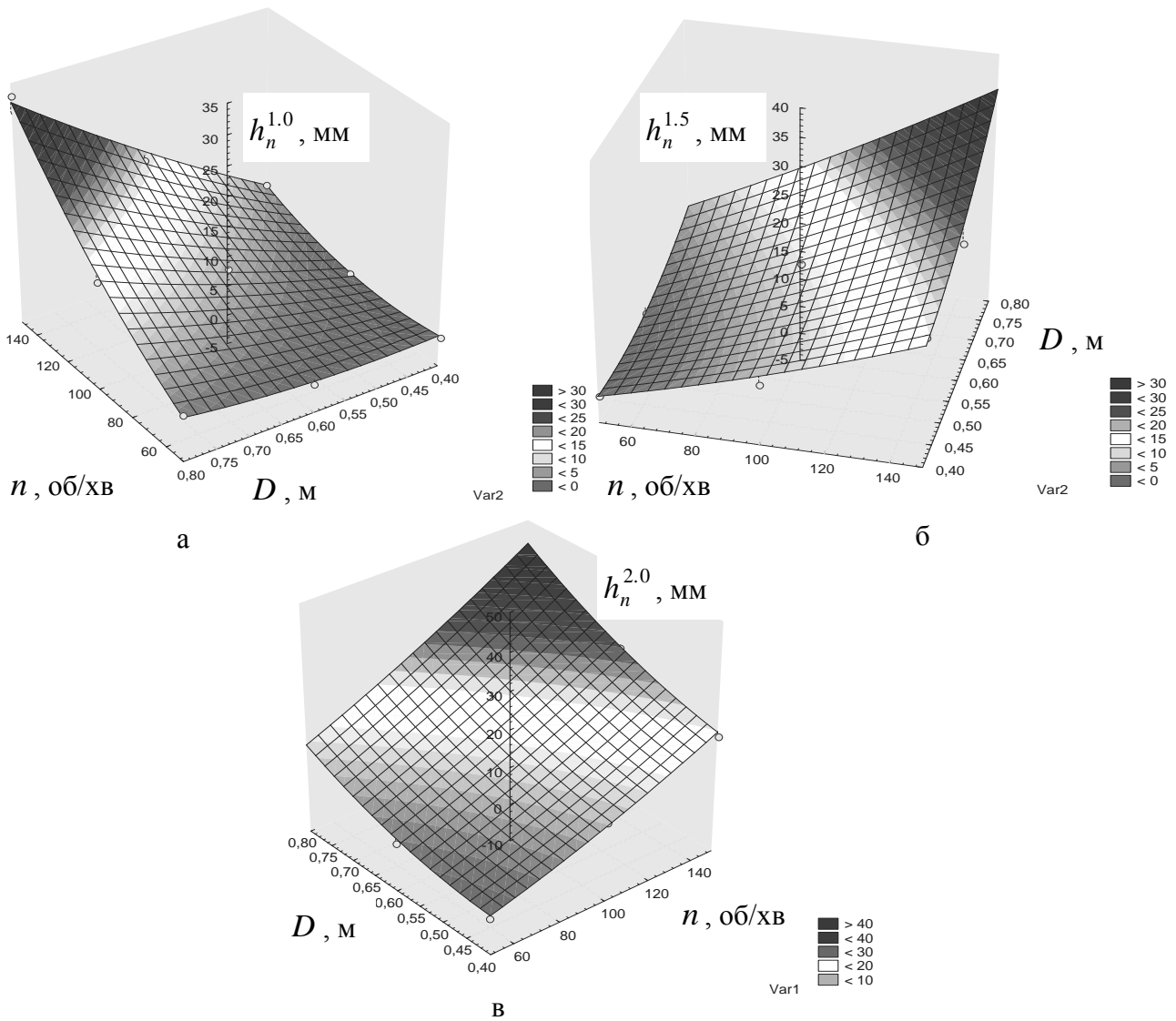


Рис. 4.15. Поверхні відгуку глибини рани тіла кормових буряків h_n^i :

$$а - h_n^{1.0} = f(n, D); \quad б - h_n^{1.5} = f(n, D); \quad в - h_n^{2.0} = f(n, D)$$

У натуральних величинах одержані рівняння регресії (4.18) мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} h_n^{1.0} &= 323,63 - 3,98 \cdot 10^{-2} n - 940,45 D + 6,3 \cdot 10^{-2} n D + 0,004 \cdot 10^{-4} n^2 + 625,0 D^2; \\ h_n^{1.5} &= 668,38 - 1,42 \cdot 10^{-2} n - 2190,2 D + 2,8 \cdot 10^{-2} n D + 0,001 \cdot 10^{-4} n^2 + 1770,75 D^2; \\ h_n^{2.0} &= 658,1 - 1,11 \cdot 10^{-2} n - 2283,2 D + 2,3 \cdot 10^{-2} n D + 0,002 \cdot 10^{-4} n^2 + 1964,25 D^2 \end{aligned} \right\} (4.19)$$

У межах зміни факторів, частоти обертання шнека $50,0 \leq n \leq 150,0$ об/хв та діаметра шнека $0,4 \leq D \leq 0,8$ м, аналіз тенденції зміни характеру та ступеня пошкодження тіла конкретизованих мас кормових буряків, який регламентований побудованими поверхнями відгуку (рис. 4.15) та двомірними перерізами

поверхонь відгуку (рис. 1.Г.6.2 додатку Г.6.2) глибини пошкоджень тіла конкретизованих мас кормових буряків, ідентичний зміні даного процесу, який описується рівняннями регресії (4.16), (4.17).

Таким чином, на основі проведеного аналізу можна констатувати, що конструктивно-кінематичні параметри шнека, які задовольняють умову та характер пошкодження коренеплодів $10 \leq h_n \leq 30$ мм (слабопошкоджені коренеплоди), для середньо-інтервального значення урожайності коренеплодів кормових буряків 500,0...550,0 ц/га, загальної довжини $15,0 \leq L_{kc} \leq 20,0$ см (що відповідає масі коренеплодів $1,5 \leq m_k \leq 2,0$ кг), будуть знаходитися у межах $D \leq 0,6$ м і $90 \leq n \leq 110$ (об/хв). Умова $h_n \leq 10$ мм, тобто усунення пошкодження кормових буряків забезпечується при наступних значеннях параметрів шнека: $0,4 \leq D \leq 0,6$ (м) і $n \leq 75$ об/хв.

Для підтвердження теоретичних закономірностей зміни сумарної швидкості співудару V_{ck} (2.39) та коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду K_T (2.40) з витком шнека, у результаті обробки експериментального масиву даних (табл. 2.Г.4.2, 3.Г.4.2 додатку Г.4.2) було одержано рівняння регресії залежності зміни V_{ck}^{ie} і K_T^{ie} від частоти обертання n та діаметра D шнека для конкретизованої маси коренеплодів m_k^i як функціонала полінома другого степеня у кодованих і натуральних величинах:

- для сумарної швидкості співудару коренеплодів кормових буряків з витком шнека КОС як $V_{ck}^{ie} = f(n, D)$ [127]:

$$\left. \begin{aligned} V_{ck}^{1.0e} &= 0,48 + 0,009x_1 + 2,43x_2 + 0,012x_1x_2 + 1,33 \cdot 10^{-5}x_1^2 - 0,67x_2^2; \\ V_{ck}^{1.0e} &= -10,3 - 4,21 \cdot 10^{-4}n + 31,03D + 1,2 \cdot 10^{-3}nD + 5,32 \cdot 10^{-9}n^2 - 19,0D^2; \\ V_{ck}^{1.5e} &= 0,44 + 0,009x_1 + 2,33x_2 + 0,012x_1x_2 + 1,33 \cdot 10^{-5}x_1^2 - 0,67x_2^2; \\ V_{ck}^{1.5e} &= -10,09 - 4,21 \cdot 10^{-4}n + 30,53D + 1,2 \cdot 10^{-3}nD + 5,32 \cdot 10^{-9}n^2 - 19,0D^2; \\ V_{ck}^{2.0e} &= 0,46 + 0,009x_1 + 2,38x_2 + 0,012x_1x_2 + 1,33 \cdot 10^{-5}x_1^2 - 0,67x_2^2; \\ V_{ck}^{2.0e} &= -10,2 - 4,21 \cdot 10^{-4}n + 30,78D + 1,2 \cdot 10^{-3}nD + 5,22 \cdot 10^{-9}n^2 + 19,0D^2 \end{aligned} \right\}; \quad (4.20)$$

- для коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека

КОС як $K_T^{ie} = f(n, D)$ [127]:

$$\left. \begin{aligned} K_T^{1.0e} &= 2,37 - 0,01x_1 - 1,38x_2 + 0,003x_1x_2 + 1,6 \cdot 10^{-5}x_1^2 + 0,25x_2^2; \\ K_T^{1.0e} &= 7,42 - 3,51 \cdot 10^{-4}n - 13,18D + 3,0 \cdot 10^{-4}nD + 6,4 \cdot 10^{-9}n^2 + 6,25D^2; \\ K_T^{1.5e} &= 2,45 + 0,01x_1 - 1,35x_2 + 0,003x_1x_2 + 1,67 \cdot 10^{-5}x_1^2 + 0,17x_2^2; \\ K_T^{1.5e} &= 6,92 - 3,51 \cdot 10^{-4}n - 11,03D + 3,0 \cdot 10^{-4}nD + 6,7 \cdot 10^{-9}n^2 + 4,25D^2; \\ K_T^{2.0e} &= 2,4 - 0,01x_1 - 1,32x_2 + 0,003x_1x_2 + 1,67 \cdot 10^{-5}x_1^2 + 0,17x_2^2; \\ V_{ck}^{2.0e} &= 6,8 - 3,51 \cdot 10^{-4}n - 10,88D + 3,0 \cdot 10^{-4}nD + 6,7 \cdot 10^{-9}n^2 + 4,25D^2 \end{aligned} \right\}; \quad (4.21)$$

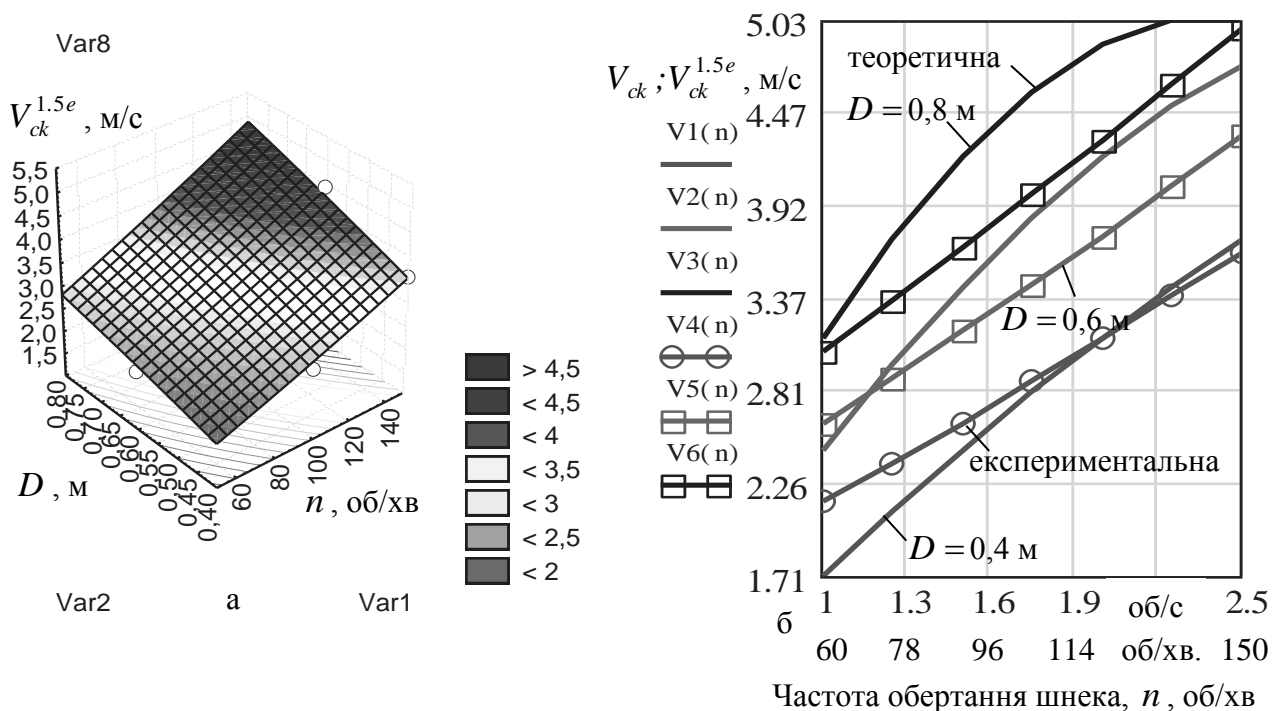


Рис. 4.16. Поверхня відгуку (а) залежності $V_{ck}^{1.5e} = f(n, D)$; б – теоретична залежність $V_{ck} = f(n)$; експериментальна залежність $V_{ck}^{1.5e} = f(n)$

Аналіз наведених рівнянь регресії (4.20), (4.21) та побудованих згідно з ними поверхонь відгуку залежностей $V_{ck}^{ie} = f(n, D)$, $K_T^{ie} = f(n, D)$, які наведено на рис. 4.16 а, 4.17, а та рис. 1.Г.7.2, 2.Г.7.2 додатку Г.7.2, показує, що зміна V_{ck}^{ie} і K_T^{ie} залежно від маси коренеплодів, які співударяються з витком шнека у межах її зміни $1,0 \leq m_k \leq 2,0$ (кг) має несуттєвий характер – відповідний приріст сумарної швидкості співудару $\Delta V_{ck}^e \approx 0,2 \dots 0,4$ м/с, а зменшення $\Delta K_K^e \approx$

0,06...0,13. Тому для практичних розрахунків V_{ck}^e і K_T^e рекомендується використовувати відповідні регресійні залежності середніх значень маси коренеплодів, тобто $V_{ck}^{1.5e}$ і $K_T^{1.5e}$ залежностей (4.20) і (4.21).

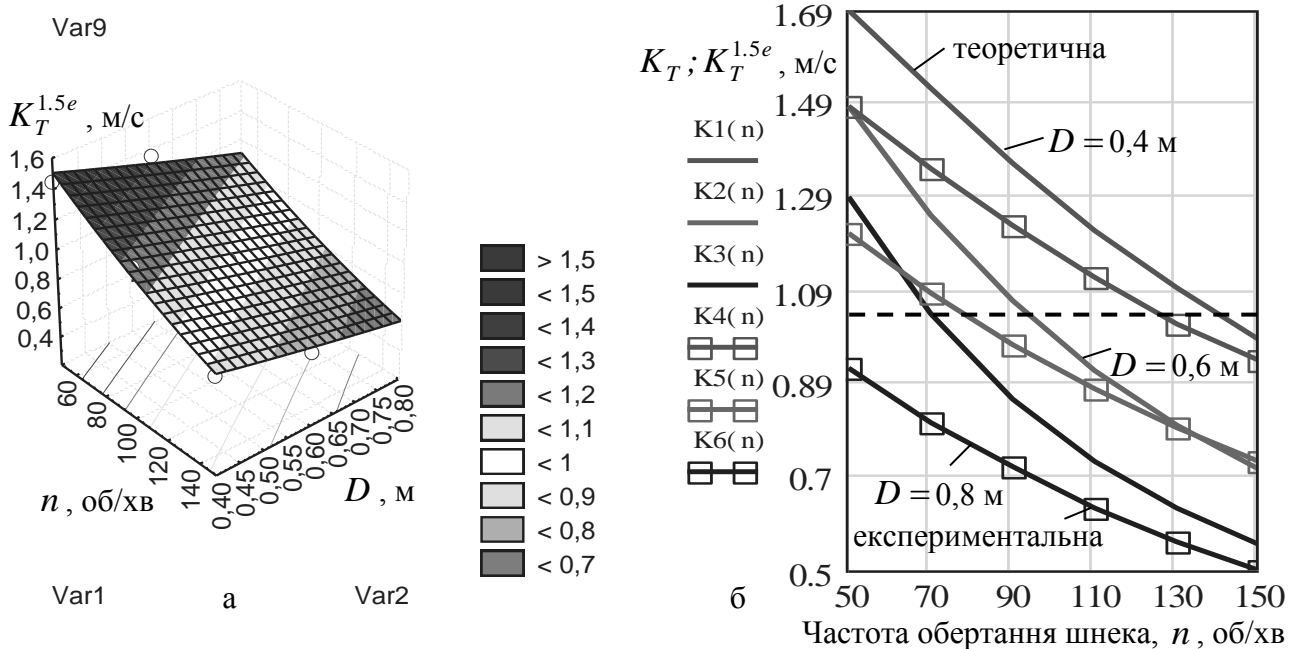


Рис. 4.17. Поверхня відгуку (а) залежності $K_T^{1.5e} = f(n, D)$; б – теоретична залежність $K_T = f(n)$; експериментальна залежність $K_T^{1.5e} = f(n)$

Аналіз наведених графічних залежностей, побудованих згідно з емпіричною регресійною формулою (4.21) показує, що умова $K_T^{1.5e} \geq 1,0$, при якій кормові коренеплоди будуть отримувати пошкодження, що не виходять за межі агротехнічних вимог до КМ [128, 140], забезпечується при наступних співвідношеннях конструктивно-кінематичних параметрів очисної системи: $D = 0,6$ м, $n \leq 80,0$ об/хв; $D = 0,5$ м, $n \leq 100,0$ об/хв; $D = 0,4$ м, $n \leq 140,0$ об/хв. Для діаметра $D = 0,8$ м у межах зміни $50 \leq n \leq 150$ об/хв умова $K_T^{1.5e} \geq 1,0$ не виконується.

Розбіжність наведених експериментальних $V_{ck}^{1.5e}$, $K_T^{1.5e}$ і теоретичних V_{ck} , K_T значень сумарної швидкості співудару та коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека знаходиться у межах 1,3...1,5 %, тобто побудована теоретична математична модель (2.39), (2.40) адекватна реальному

існуючому процесу, або достовірно описує процес взаємодії коренеплодів з витком шнека з урахуванням формалізації об'єкту досліджень і може, поряд з одержаними емпіричними рівняннями регресії (4.17), (4.19-4.21), бути використана для подальшого обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів ТТС очисників вороху кормових буряків.

4.3. Порівняльні польові дослідження модернізованої коренезбиральної машини

Польові дослідження модернізованої КМ МКК-6, яку було обладнано КОС (рис. 3.4, 3.5), проводились порівняно з базовою машиною (додаток В.5.4).

Будову та принцип роботи удосконаленої машини наведено у підрозділі 3.1, а методику проведення та порядок визначення показників якості роботи польових порівняльних випробувань – у підрозділі 3.4 розділу 3.

Модернізацію конструктивної схеми серійної КМ МКК-6, загальний вигляд якої наведено на рис. 4.18, було проведено наступним чином.

Зверху над перехідним бункером-накопичувачем 1 (рис. 4.19) і за похилим транспортером (зона А, рис. 4.18) було встановлено горизонтальний транспортер 2, над вихідним кінцем якого змонтовано шнек 3 і відминальні вальці (на рис. не показано). Збоку бункера-накопичувача та вихідного кінця шнека встановлено очисну гірку 4 з гідроприводом 5. Нижній схід очисної гірки розташований над поперечним транспортером 6, за яким встановлено вивантажувальний транспортер 7.

Модернізація технологічного процесу роботи КМ полягає у тому, що ворох коренеплодів після похилого транспортера надходить до шнека 3, який пересуває його вздовж своєї осі обертання та подає його на очисну гірку 4. З нижнього сходу гірки ворох коренеплодів рухається на транспортери 6 і 7.

Раціональні конструктивно-кінематичні параметри КОС, яку змонтовано на серійній КМ МКК-6, при проведенні порівняльних польових досліджень було встановлено за результатами проведених теоретичних і експериментальних

досліджень, при цьому інші показники технічної характеристики конструктивно-кінематичних параметрів модернізованої машини відповідали технічним показникам серійної КМ. Загальна технічна характеристика КМ наведена у додатку В.2.1, при цьому раціональні конструктивно-кінематичні параметри КОС були такими: швидкість руху горизонтального транспортера $V_{mp} = 1,6$ м/с; частота обертання шнека $n = 110$ об/хв; діаметр шнека $D = 0,6$ м; крок гвинта $T = 0,7$ м (згідно з розділами 2, 4); висота витків шнека $h = 0,25$ м; довжина

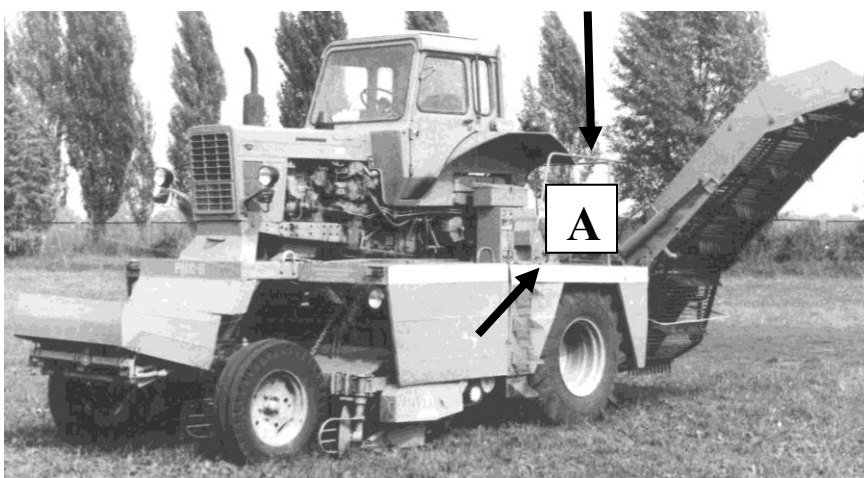


Рис. 4.18. Загальний вигляд базової КМ

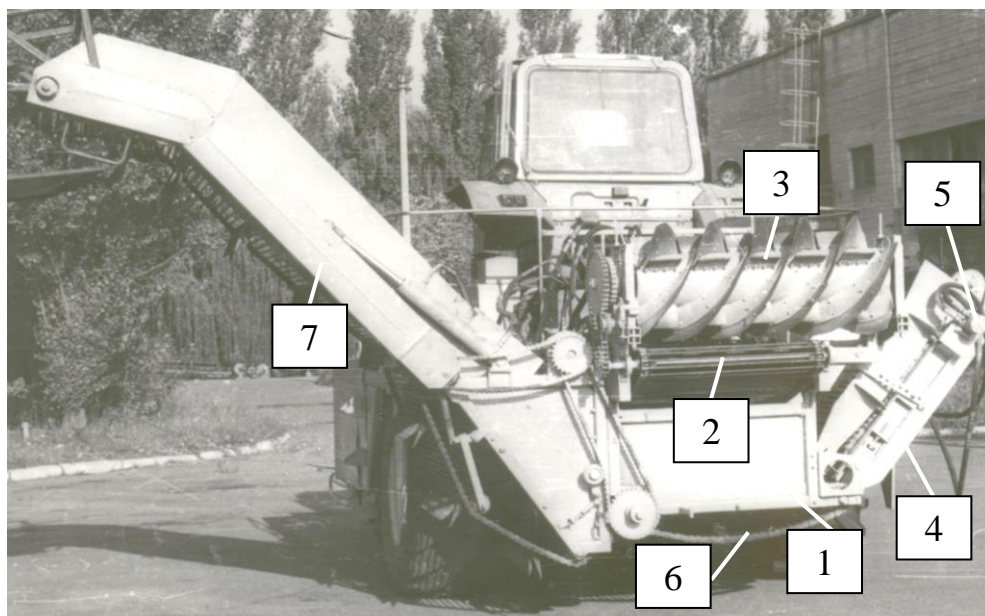


Рис. 4.19. Загальний вигляд удосконаленої КМ МКК-6, вигляд ззаду:

1 – бункер-накопичувач; 2, 6, 7 – горизонтальний, поперечний, вивантажувальний транспортер; 3 – шнек; 4 – гірка; 5 – гідромотор

очисних елементів $L = 0,25$ м (конструктивно); діаметр відминальних вальців $d_1 = 0,12$ м (за умови не намотування рослинних домішок на поверхню вальця [154]); частота обертання відминальних вальців $n_1 = 450$ об/хв (з умови забезпечення відминання залишків гички [155]); радіальний зазор між шнеком і робочою гілкою транспортера $h_p = 0,07$ м (конструктивно за умови забезпечення транспортування коренеплодів витками шнека [102]); зазор між нижнім відминальним вальцем і робочою гілкою транспортера $h_1 = 0,05$ м (конструктивно за умови забезпечення усунення втрат кондиційних коренеплодів [128]); швидкість руху очисної гірки $V_{e2} = 1,2$ м/с; кут встановлення полотна гірки відносно вертикальної площини $\theta = 55$ град [156].

Загальний вигляд коренезбирального комплексу МКК-6+МТЗ-50+2ПТС-4 під час проведення порівняльних випробувань наведено на рис. 4.20.



Рис. 4.20. Загальний вигляд коренезбирального комплексу

Порівняльні дослідження проводили з метою встановлення технологічної ефективності роботи КОС в цілому та її окремих робочих органів у складі КМ [157]. Так на першому етапі провели польові дослідження КМ без очисних пружних елементів і відминальних вальців (рис. 4.19), тобто дані базові елементи робочих органів КОС було демонтовано з машини. У подальшому визначали агротехнічні показники якості роботи всієї компоновальної схеми КОС і, на основі порівняльної характеристики показників удосконаленої і серійної КМ, визначали загальну технологічну ефективність КОС і її окремих робочих органів.

Робоча швидкість руху модернізованої і серійної машини була однакою у всіх випадках проведення польових порівняльних випробувань й становила 1,6 м/с. Випробування провели впродовж одного дня та в однакових ґрунтово-кліматичних умовах.

Результати агротехнічних показників якості виконання технологічного процесу порівняльних польових досліджень модернізованої і серійної корене-збиральних машин МКК-6 наведено у табл. 4.1, при цьому показники якості визначені відносно маси проби коренеплодів.

Аналіз наведених показників (табл. 4.1) якості викопування та підбирання кормових буряків показує, що втрати коренеплодів при їх викопуванні модернізованою та серійною КМ однакові і становлять близько 1,3 %. При цьому за групою втрат, яка відноситься до показника присипаних коренеплодів на поверхні поля ґрунтом, модернізована КМ перевищує показник серійної МКК-6 на 0,1 %, що цілком реально пояснюється тим, що робочі органи удосконаленої КМ просіюють на поверхню поля значно більше (приблизно в 2,4 рази) вільного ґрунту, тим самим інтенсивніше присипаючи втрачені на поверхні поля коренеплоди.

Також удосконалена КМ, порівняно з серійною, має незначно більший показник сильнопошкоджених коренеплодів – 3,7 проти 3,5 %, що пояснюється додатковим процесом ударної взаємодії коренеплодів з витком шнека, проте значення сильнопошкоджених коренеплодів не виходить за межі агротехнічних вимог – до 5,0%. Але серійна КМ має несуттєво більший показник загальних пошкоджень кормових буряків – 9,7 % проти 9,4 % у серійної КМ, що також пояснюється додатковим падінням коренеплодів з похилого транспортера на дно поперечного транспортера бункера-накопичувача, на відміну від плавного руху коренеплодів з гірки на поперечний транспортер у модернізованої КМ.

Аналіз інших показників якості виконання технологічного процесу показує, що застосування розробленої КОС на серійній КМ МКК-6 дозволяє значно покращити агротехнічні показники якості процесу відокремлення домішок вороху від коренеплодів порівняно з базовою машиною.

Показники якості виконання технологічного процесу збирання кормових буряків при проведенні порівняльних випробувань

Найменування показників	Значення показників			
	Модернізована		Серійна	АТВ
	1*	2*		
Робоча швидкість руху, м/с	1,6	1,6	1,6	до 1,8
Глибина підкопування:				
- середня, см	9,0	9,0	9,0	-
- середньоквадратичне відхилення, \pm см	0,83	0,85	0,85	-
Якість підкопування і підбору коренеплодів, %:				
- зібрано машиною	98,8	98,7	98,7	-
- втрати, всього	1,2	1,3	1,3	1,5
у тому числі:				
- невикопаних коренеплодів	0,4	0,4	0,4	0,5
- на поверхні ґрунту	0,2	0,3	0,4	-
- присипаних ґрунтом	0,6	0,6	0,5	-
Склад вороху зібраних коренеплодів, %:				
- коренеплоди	93,8	96,0	90,9	-
- домішки, всього	6,2	4,0	9,1	8,0
у тому числі:				
- вільного ґрунту	1,4	1,3	3,1	1,5
- налиплого ґрунту на коренеплодах	1,5	0,5	1,8	-
- рослинних решток, всього	3,3	2,2	4,2	3,5
у тому числі:				
- вільної гички та бур'янів	0,8	0,7	1,6	2,0
- залишків гички на головках коренеплодів	2,5	1,5	2,6	1,5
Пошкодження коренеплодів, %:				
- всього	9,3	9,4	9,7	15,0
у тому числі:				
- сильнопошкоджених	3,7	3,7	3,5	5,0

1* - без очисних елементів і відминальних вальців; 2* - КОС

Показник загальної кількості домішок у воросі зібраних коренеплодів удосконаленої КМ, відносно показника серійної КМ, зменшується приблизно в 2,3 рази (4,0 % проти 9,1 % у серійної КМ), що підтверджує технологічну доцільність застосування КОС та є суттєвим у плані подальшого удосконалення технологічного процесу збирання коренеплодів та робочих органів ТТС КМ.

Крім того, за окремими показниками складових компонента домішок вороху коренеплодів, удосконалена КМ також має значно менші показники відносно показників серійної машини.

Кількість зв'язаної гички (залишків гички) на головках кормових бур'яків при роботі удосконаленої машини зменшується приблизно в 1,7 рази відносно показника серійної КМ – 1,5 % проти 2,6 у серійної; сумарна кількість вільної гички та бур'янів зменшується приблизно в 2,3 рази – 0,7 % проти 1,6 % у серійної, при цьому загальний показник рослинних домішок удосконаленої КМ, відносно аналогічного показника серійної КМ МКК-6, зменшується приблизно в 1,9 рази (2,2 % проти 4,2 % у серійної КМ).

Кількість налиплої землі на боковій поверхні тіла коренеплодів при роботі удосконаленої КМ становить 0,5%, тоді як у базової машини цей показник дорівнює 1,8 %, тобто зменшується в 3,5 рази, а кількість вільного ґрунту у воросі коренеплодів зменшується з 3,1 % у серійної машини до 1,3 % в удосконаленої КМ, тобто приблизно в 2,4 рази, при цьому загальний сумарний показник ґрунтових домішок удосконаленої КМ, відносно аналогічного показника серійної КМ, зменшується приблизно в 2,7 рази.

Аналіз показників якості роботи КОС без очисних пружних елементів і відминальних вальців (випадок перший, графа 1*) та КОС в цілому (випадок другий, графа 2* табл. 4.1) характеризує доцільність встановлення очисних пружних елементів у міжвитковому просторі шнека та відминальних вальців.

Так загальні домішки у викопаному воросі коренеплодів у другому випадку зменшуються приблизно в 1,6 рази, при цьому загальні ґрунтові домішки зменшуються у 1,5 рази, загальні рослинні домішки – приблизно в 1,4 рази, залишки гички на головках коренеплодів – у 1,7 рази, налиплий ґрунт на коренеплодах – у 3,0 рази.

Таким чином, можна констатувати, що застосування КОС у технологічній схемі серійної КМ МКК-6 дозволяє значно зменшити загальну забрудненість викопаного вороху кормових бур'яків (приблизно в 2,3 рази) за рахунок того, що очисні пружні елементи, крім інтенсифікації процесу очищення бокової

поверхні тіла коренеплодів від налиплого ґрунту, пригальмовують домішки над горизонтальним транспортером і, як наслідок, збільшують час їх знаходження над сепарувальними зазорами, які утворені прутками транспортера. Крім того при проходженні коренеплодів з залишками гички на їх головках під шнеком до відминальних вальців відбувається її видалення методом відминання між вальцями за рахунок їх зустрічного обертання.

На основі проведеного аналізу порівняльних польових випробувань удосконаленої та серійної КМ можна стверджувати, що використання розробленої КОС з обґрунтованими її конструктивно-кінематичними параметрами забезпечує значне підвищення ефективності процесу збирання кормових буряків і є перспективним напрямком для подальшого удосконалення технологічного процесу збирання коренеплодів шляхом застосування КОС в конструктивно-компонувальних схемах КМ.

4.4. Перспективні напрямки вдосконалення очисних робочих органів коренезбиральних машин

Основними критеріями, які регламентують перспективні напрямки подальшого вдосконалення очисних систем і окремих робочих органів КМ, повинні бути подальший науковий аналіз загальних принципів функціонування технологічного процесу очищення вороху коренеплодів та методи оптимізації конструктивно-технологічних закономірностей їх можливого застосування.

Оптимізація раціональних типів, структури відповідних технологічно-компонувальних схем КОС, форми робочих органів і їх параметрів може бути виконана на основі подальшого математичного моделювання вірогідних характеристик основних параметрів технологічного процесу відокремлення домішок від коренеплодів з урахуванням множини зовнішніх і внутрішніх факторів, які обумовлюють підвищення показників ефективності роботи даних очисних пристроїв КМ.

Проведений аналіз технологічного процесу роботи КОС, який виконано

на основі одержаних результатів лабораторних і польових досліджень, вказує на те, що показники якості сепарації домішок вороху коренеплодів залежать не тільки від дії впливу багатьох одиночних наявних факторів, але і від їх множини (взаємозв'язку): характеристики умов та режимів роботи КМ, конструктивних особливостей робочих органів, їх розташування в конструктивно-компонувальній схемі КМ тощо.

На основі проведеного аналізу можна запропонувати основні напрямки подальшого вдосконалення технологічного процесу сепарації домішок вороху коренеплодів очисними системами КМ, які призначені для збирання коренеплодів кормових буряків:

- застосування пружних матеріалів при розробці контактних поверхонь робочих органів (наприклад, виконання шнека КОС з полімерних пружних матеріалів або прогумування робочої поверхні витків шнека, що дозволить знизити допустимі напруження під час процесу взаємодії коренеплодів з витком шнека або їх пошкодження);

- розподілу технологічного потоку вивантаження очищених коренеплодів до обох периферійних зон шнека за рахунок зміни його конструктивного виконання, що дозволить збільшити пропускну здатність КОС;

- подальше вдосконалення технологічного процесу роботи КОС на основі підвищення надійності та стабільності роботи окремих робочих органів шляхом усунення технологічних простоїв.

У якості реалізації одного з шляхів підвищення показників якості роботи очисників вороху коренеплодів нами запропоновано конструктивне вдосконалення КОС ВК [158], у якій підвищення показників відокремлення домішок від коренеплодів відбувається за рахунок додаткового відведення домішок з робочої зони очисника.

Конструктивна схема КОС наведена на рис. 4.21.

На відміну від схеми КОС (рис.1.22), у запропонованій схемі над робочою гілкою поперечного пруткового транспортера 10 та під нижньою гілкою подавального горизонтального пруткового транспортера 1 і зони

розміщення поперечного шнека 3 встановлено відповідний пристрій, який виконано в вигляді приводного суцільного транспортера 12. Напрямок руху робочої гілки транспортера 12 однаковий напрямку руху робочої гілки подавального транспортера 1.

Просіяні через отвори між прутками подавального транспортера 1 домішки попадають на суцільне полотно приводного транспортера 12, яким виносяться за його межі, тим самим усувається можливість попадання домішок на робочу гілку поперечного транспортера 10.

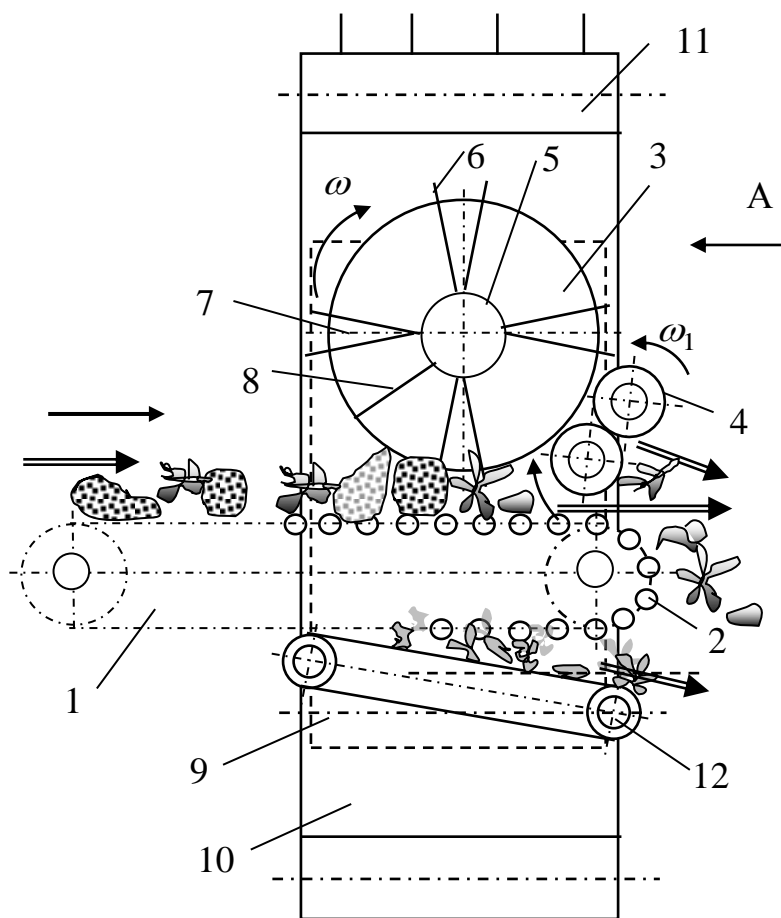


Рис. 4.21. Конструктивна схема удосконаленої КОС:

1, 10, 11, 12 – подавальний, поперечний, вивантажувальний та відповідний транспортери; 2 – пруток транспортера; 3 – шнек; 4 – відминальні вальці;

5 – труба шнека; 6 – пружні очисні елементи; 7 – пучки ворсу;

8 – виток шнека; 9 – очисна гірка

⇒ Напрямок руху домішок

→ Напрямок руху коренеплодів

Таким чином, за рахунок встановлення відвідного пристрою, усувається можливість надходження просіяних через отвори прутків подавального транспортера домішок на робочу гілку поперечного транспортера, за рахунок чого значно зменшується загальна кількість домішок у воросі коренеплодів.

За результатами проведеного комплексу теоретичних і експериментальних досліджень, для виробництва рекомендовані дані основних конструктивно-кінематичних параметрів КОС, які наведені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Рекомендовані конструктивно-кінематичні параметри КОС

Основні параметри КОС	Значення параметрів
Швидкість руху робочої гілки подавального транспортера, V_e , м/с	1,5...1,6
Діаметр шнека, D , м	0,5...0,6
Частота обертання шнека, n , об/хв	90,0...110,0
Крок шнека, T , м	0,6...0,7
Висота витків шнека, a , м	0,25
Кут підйому гвинтової лінії по зовнішньому діаметрі шнека, β , град	27,5
Кількість заходів шнека, шт.	1
Діаметр пружних очисних елементів, мм	4,0...6,0
Довжина пружних очисних елементів, м	0,25
Швидкість руху робочої гілки очисної гірки, м/с	1,3...1,4
Радіальний зазор між гвинтом і робочою гілкою транспортера, м	0,05...0,07
Радіальний зазор між нижнім відминальним вальцем і робочою гілкою транспортера, м	0,045
Діаметр відминальних вальців, м	0,12
Кутова швидкість обертання відминальних вальців, рад/с	40,0...45,0

4.5. Попередні висновки до розділу

На основі проведеного аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень і порівняльних випробувань КОС можна зробити такі висновки:

1. Встановлено, що зміна поправочного коефіцієнта λ_s описується рівнянням регресії (4.2), (4.7), при цьому масив значень λ_s знаходиться у

межах $0,6...0,7$, а усереднене значення масиву $\lambda_s \cong 0,66$ забезпечується у межах зміни коефіцієнта пропорційності $0,5 \leq k_p \leq 0,7$ і довжини кормових буряків $L_k \cong 18,0$ см та при зміні довжини коренеплодів у межах $15 \leq L_k \leq 25$ (см) і значення $k_p \cong 0,6...0,63$, а закон розподілення поправочного коефіцієнта λ_s описується усіченим нормальним законом розподілу.

2. Можна констатувати, що для середніх значень розмірно-масових параметрів кормових буряків конусної форми, урожайності $500,0...550,0$ ц/га, загальної довжини $15,0 \leq L_{kc} \leq 20,0$ см та їх залягання в ґрунті на $(1/2...2/3)L_k$ ($k_p = 0,5...0,67$), значення маси налиплого ґрунту m_{1ap}^e на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів буде знаходитися в межах $25,0...50,0$ г, при цьому розбіжність значень маси налиплого ґрунту, отриманих теоретично m_{1ap} та експериментально m_{1ap}^e , знаходиться у межах $7,0...12,5$ %.

3. Встановлено, що конструктивно-кінематичні параметри шнека, які задовольняють умову $10 \leq h_n \leq 30$ мм (слабких пошкоджень) для довжини кормових буряків $15,0 \leq L_{kc} \leq 20,0$ см (що відповідає масі $1,5 \leq m_k \leq 2,0$ кг), будуть знаходитися у межах $D \leq 0,6$ м і $90 \leq n \leq 110$ (об/хв.). Умова усунення пошкодження кормових буряків ($h_n \leq 10$ мм) забезпечується при параметрах шнека $0,4 \leq D \leq 0,6$ (м) і $n \leq 75$ об/хв.

4. Зміна сумарної швидкості співудару V_{ck}^{ie} і коефіцієнта технологічної взаємодії K_T^{ie} залежно від маси коренеплодів у межах $1,0 \leq m_k \leq 2,0$ (кг) має несуттєвий характер – відповідний приріст $\Delta V_{ck} \approx 0,2...0,4$ м/с, а зменшення $\Delta K_K^e \approx 0,06...0,13$. Для практичних розрахунків V_{ck}^e і K_T^e рекомендується використовувати відповідні регресійні залежності середніх значень маси коренеплодів $V_{ck}^{1.5e}$ і $K_T^{1.5e}$.

5. Умова $K_T^{1.5e} \geq 1,0$, при якій кормові коренеплоди будуть отримувати пошкодження, що не виходять за межі агротехнічних вимог, забезпечується при

наступних співвідношеннях параметрів шнека: $D = 0,6$ м, $n \leq 80,0$ об/хв; $D = 0,5$ м, $n \leq 100,0$ об/хв; для діаметра $D = 0,8$ м у межах зміни $50 \leq n \leq 150$ об/хв умова $K_T^{1.5e} \geq 1,0$ не виконується. Розбіжність наведених експериментальних $V_{ck}^{1.5e}$, $K_T^{1.5e}$ і теоретичних V_{ck} , K_T значень сумарної швидкості співудару та коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека знаходиться у межах 1,3...1,5 %.

6. Загальний показник рослинних домішок удосконаленої КМ, відносно аналогічного показника серійної КМ МКК-6, зменшується приблизно в 1,9 рази (2,2 % проти 4,2 % у серійної КМ), а загальний показник ґрунтових домішок зменшується приблизно в 2,7 рази.

7. Показник загальної кількості домішок у воросі зібраних коренеплодів удосконаленої КМ, відносно показника серійної КМ, зменшується приблизно в 2,3 рази (4,0 % проти 9,1 % у серійної КМ), що підтверджує технологічну доцільність застосування КОС та є суттєвим у плані подальшого удосконалення технологічного процесу збирання коренеплодів та робочих органів ТТС КМ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. За результатами досліджень вирішено наукове завдання підвищення показників якості роботи КМ шляхом розроблення і обґрунтування параметрів КОС. Підвищення показників якості роботи КМ досягнуто за рахунок інтенсифікації процесу відокремлення домішок від коренеплодів робочими органами КОС із її обґрунтованими раціональними параметрами.

2. Під час аналізу уточнення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів встановлено, що максимальні значення маси ґрунту на коренеплодах конічної та циліндричної форми ймовірно знаходяться у межах 80...125 та 480...500 г. Із врахуванням поправочного коефіцієнта λ_s ці значення будуть значно меншими.

3. У процесі аналізу співудару коренеплоду з витком шнека встановлено, що значення коефіцієнта технологічної взаємодії $K_T \geq 1,0$ забезпечується при діаметрі шнека 0,5...0,8 м, його частоти обертання 65,0...115,0 об/хв і значенні кута підйому гвинтової лінії 35° . Якщо кут підйому гвинтової лінії більший 45° , відбувається інтенсивне зменшення коефіцієнта ($K_T \ll 1,0$), що призводить до значного збільшення сумарної швидкості удару коренеплодів або підвищення їх пошкоджень.

4. У процесі аналізу руху коренеплоду після його взаємодії з витком шнека встановлено, що умова забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів або напрямок вектора сумарної швидкості співудару співпадає з напрямком осьового переміщення витків шнека, функціонально виконується при значеннях діаметра шнека 0,5; 0,6 і 0,7 м та відповідної частоти обертання шнека 90, 70 і 60 об/хв.

5. За результатами польових досліджень встановлено, що значення поправочного коефіцієнта знаходяться у межах 0,6...0,7, а випадковість процесу описується усіченим нормальним законом розподілу. Значення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів становить 25,0...50,0 г.

6. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що глибина рани тіла коренеплодів масою від 1,5 до 2,0 кг змінюється в межах 10...30 мм при діаметрі рівному або меншому 0,6 м та частоти обертання шнека від 90 до 110 об/хв. Глибина рани менша 10 мм забезпечується при параметрах шнека від 0,4 до 0,6 м та його частоти обертання рівній або меншій 75 об/хв.

7. Зміна сумарної швидкості співудару і коефіцієнта технологічної взаємодії залежно від зміни маси коренеплодів у межах 1,0...2,0 кг має несуттєвий характер – приріст швидкості становить 0,2...0,4 м/с, а зменшення коефіцієнта на 0,06...0,13. Для практичного розрахунку сумарної швидкості співудару та коефіцієнта технологічної взаємодії рекомендується застосовувати регресійні залежності для середньої (1,5 кг) маси коренеплодів.

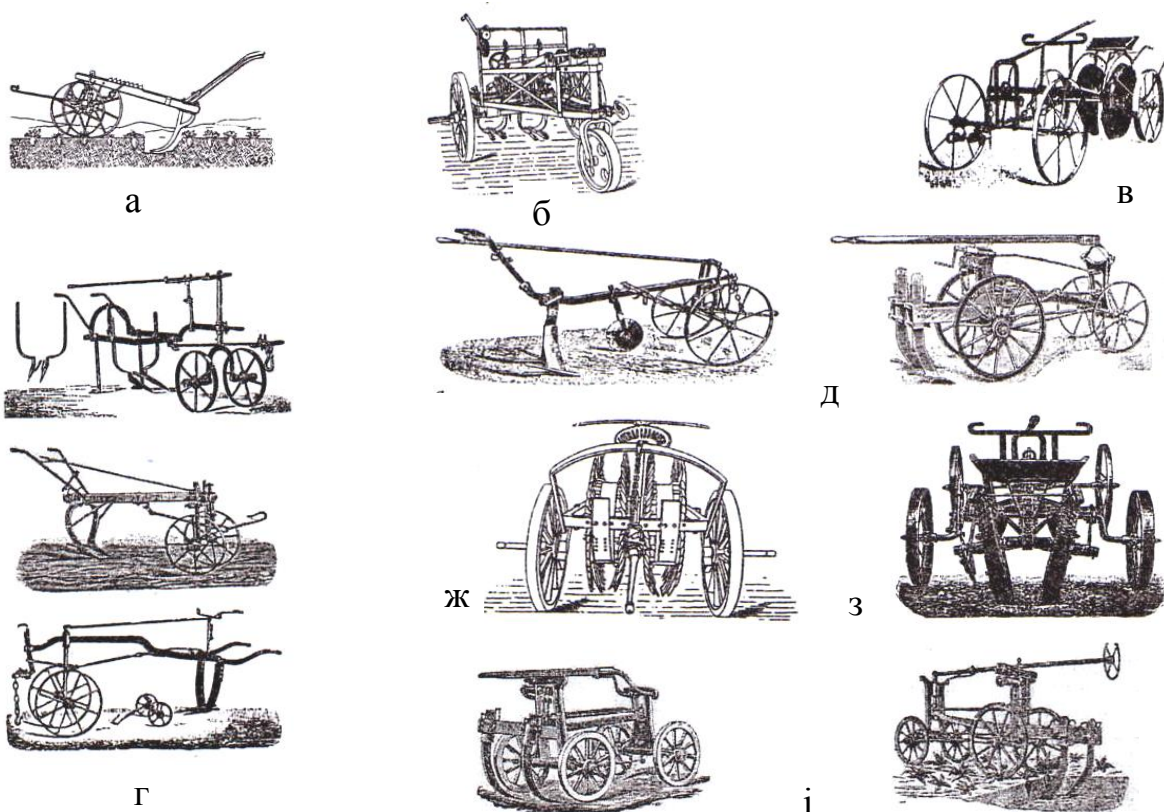
8. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що оптимальними параметрами шнека є такі співвідношення: діаметр шнека 0,5 і 0,6 м та частота обертання 80 і 100 об/хв, при яких коефіцієнт технологічної взаємодії більший 1,0, або пошкодження коренеплодів знаходяться у межах агротехнічних вимог. Для діаметра шнека 0,8 м та частоти обертання шнека від 50 до 150 об/хв дана умова не виконується. Розбіжність експериментальних і теоретичних значень сумарної швидкості співудару та коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека є в межах 1,3...1,5 %.

9. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень рекомендовані такі раціональні параметри КОС: швидкість руху подавального транспортера – 1,5...1,6 м/с; діаметр шнека – 0,6 м; частота обертання шнека – 80...100 об/хв; кут підйому гвинтової лінії – $27,5^{\circ}$; висота витка шнека – 0,25 м.

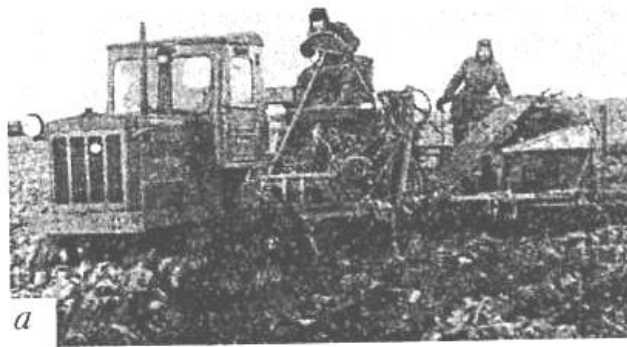
10. Застосування КОС є раціональним в умовах надмірної та сухої вологості ґрунту, в яких показники якості роботи серійних машин незадовільні. Встановлено, що розроблена КОС забезпечує зниження загальної кількості домішок у 2,3 рази, в тому числі вільного ґрунту в 2,7 рази.

ДОДАТКИ

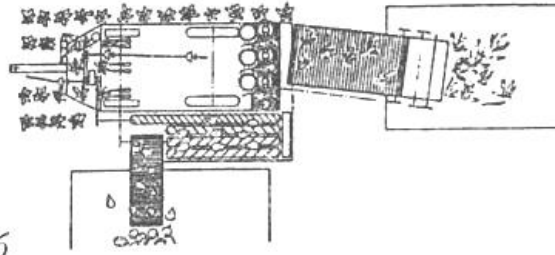
Кінні знаряддя для викопування коренеплодів



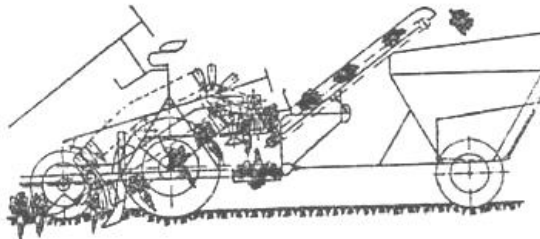
а – однорядний німецький плуг-бурякопідіймач Р. Сака; б – дворядний бурякокопач Лааса; в – дисковий коренекочач Френе-Вотье; г – однорядні бурякокопачі з вилчастими копачами; д – дворядні копачі Гампеля та Циммермана; ж – дисковий копач Томана; з – дисковий копач Беренса; і – дворядний коренепідіймача В. Зідерслебена



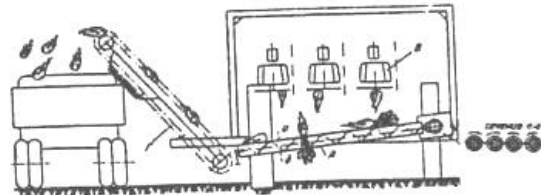
а



б



в

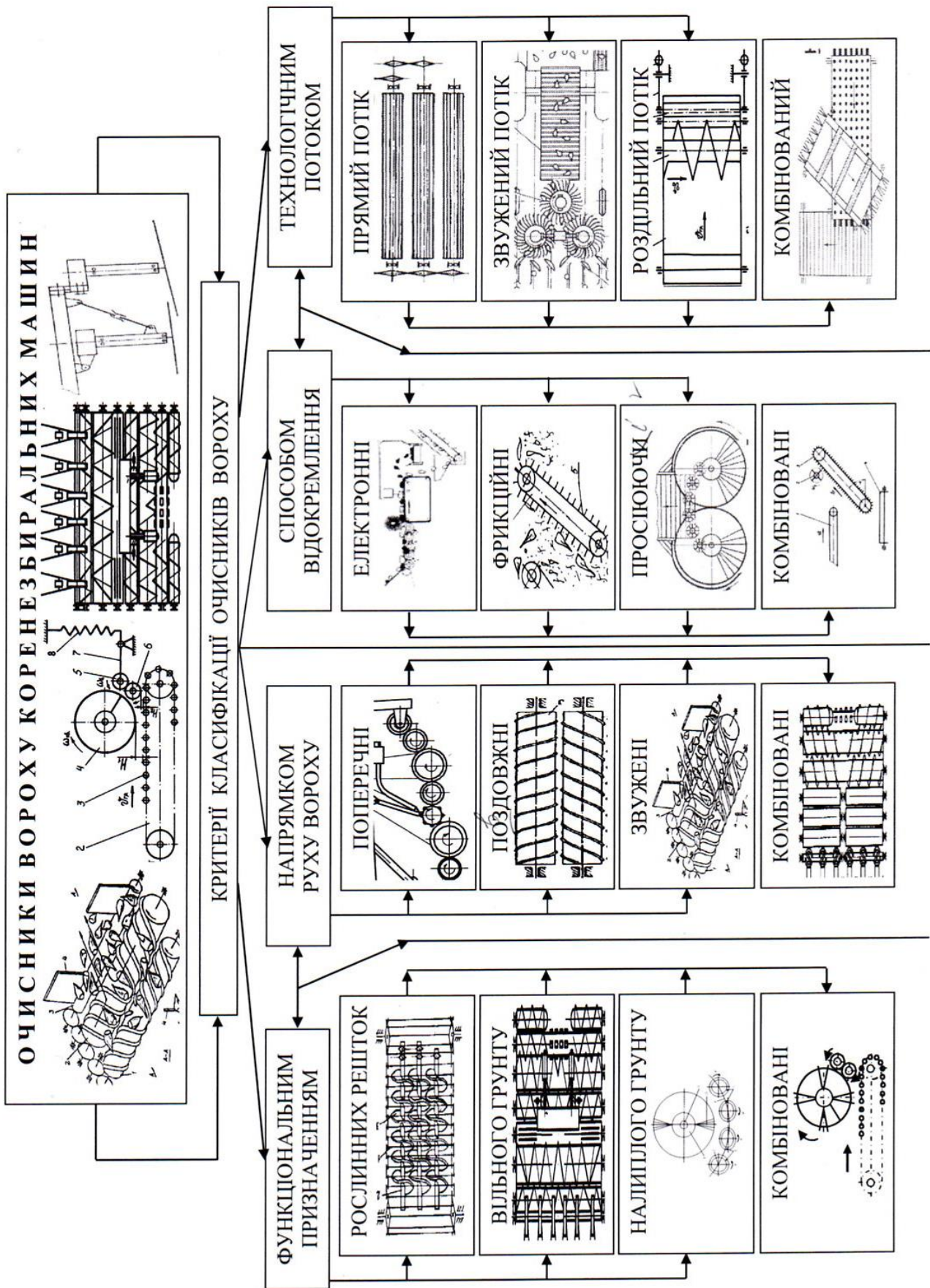


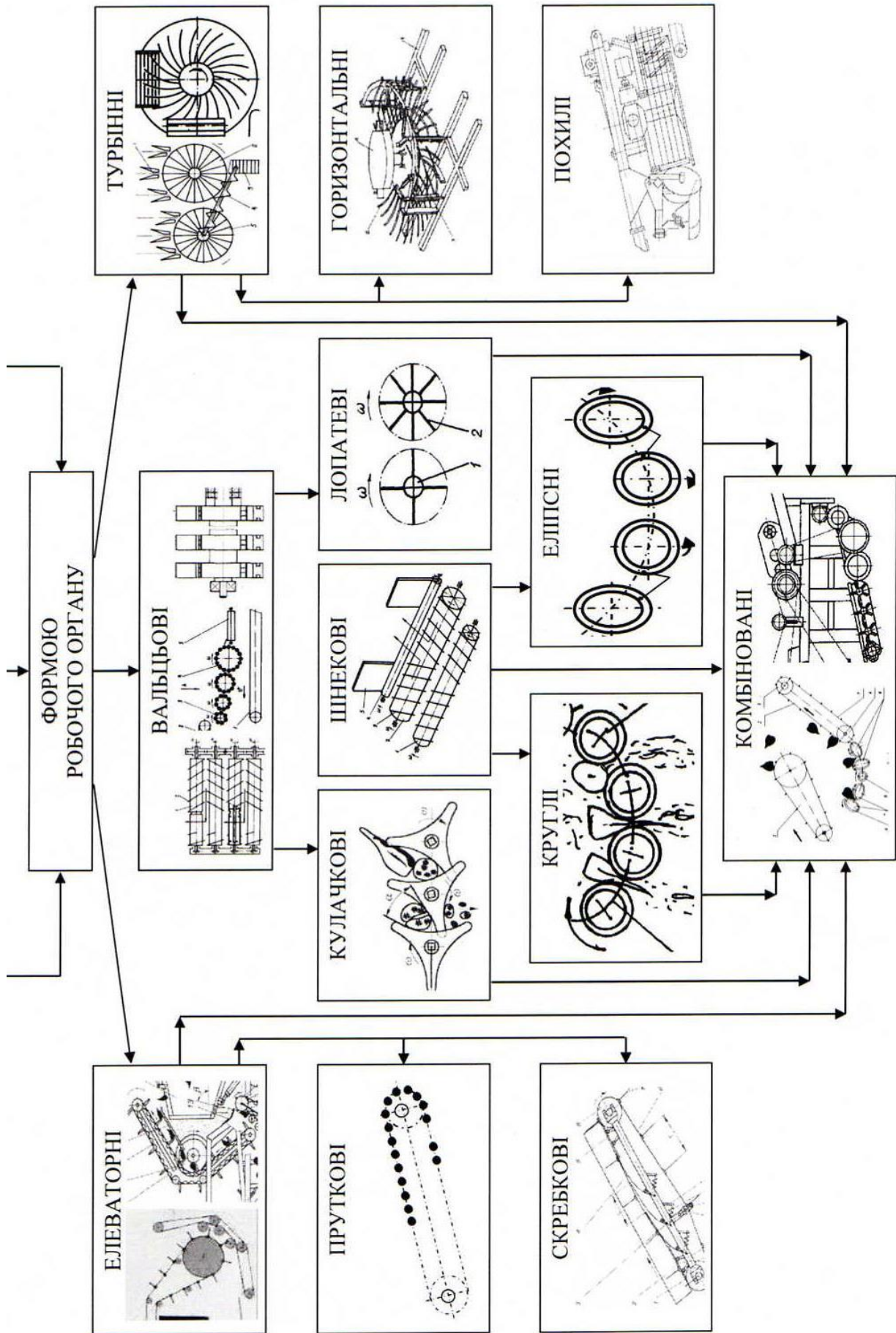
г

Бурякокомбайн СКЕМ-3 з рульовим комбайнером (а); технологічна схема комбайнів КСТ-3 (б) і СПТ-3 (в, г) з шнековими очисниками

Загальний вигляд модернізованих машин







Порядок спрощення залежності (2.14)

$$\begin{aligned}
{}^* m_{1a\rho} &= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(r_k + \delta)}{H_\rho + \delta} \right]^2 - \left(\frac{r_k}{H_\rho} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \Big|_0^{H_\rho} = \\
&= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(r_k + \delta)}{H_\rho + \delta} \right]^2 - \left(\frac{r_k}{H_\rho} \right)^2 \right\} \frac{H_\rho^3}{3} = \pi\rho \left[\left(\frac{H_\rho \operatorname{tg}(\alpha/2)}{H_\rho + \delta} \right)^2 - \left(\frac{H_\rho \operatorname{tg}(\alpha/2)}{H_\rho} \right)^2 \right] = \\
&= \pi\rho \left[\left(\frac{H_\rho \operatorname{tg}(\alpha/2)}{H_\rho + \delta} \right)^2 - \left(\frac{H_\rho \operatorname{tg}(\alpha/2)}{H_\rho} \right)^2 \right] = \\
&= \pi\rho \left\{ \frac{H_\rho}{3(H_\rho + \delta)^2} \left[(0,5H_\rho \operatorname{tg} \alpha / 2 + \delta)^2 H_\rho^2 - 0,25H_\rho^2 \operatorname{tg}^2(\alpha/2)(H_\rho + \delta)^2 \right] \right\}; \\
{}^* m_{2a\rho} &= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(r_k + \delta)}{l_k + \delta} \right]^2 - \left(\frac{r_k}{l_k} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \Big|_0^{l_k} + \delta(2R_k + \delta)Z \Big|_0^{H_{1\rho}} = \\
&= \pi\rho \left(\frac{\frac{R_k H_\rho}{l_k + \delta} + \delta}{l_k + \delta} \right)^2 - \left(\frac{\frac{R_k H_\rho}{l_k} + \delta}{l_k} \right)^2 \frac{l_k^3}{3} + \delta(2R_k + \delta)H_{1\rho} = \\
&= \pi\rho \left\{ \frac{L_k - H_1}{3(L_k - H_1 + \delta)^2} \left[(0,5D_k + \delta)^2 (L_k - H_1)^2 - 0,25D_k^2 (L_k - H_1 + \delta)^2 \right] + \right. \\
&\quad \left. + \delta H_{1\rho} (D_k + \delta) \right\}
\end{aligned}$$

* - порядковий номер формули (1.Б.1.2)

Порядок спрощення залежності (2.15)

$$\begin{aligned}
{}^* m_{16\rho} &= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(R_k + \delta)}{H_{3\rho} + \delta} \right]^2 - \left(\frac{R_k}{H_{3\rho}} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \Big|_0^{H_{3\rho}} + \left\{ \left[\frac{\sqrt{3}(R_k + \delta)}{H_{2\rho}} \right]^2 - \left(\frac{\sqrt{3}R_k}{H_{2\rho}} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \Big|_0^{H_{2\rho}} = \\
&= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(R_k + \delta)}{H_{3\rho} + \delta} \right]^2 - \left(\frac{R_k}{H_{3\rho}} \right)^2 \right\} \frac{H_{3\rho}^3}{3} + \left\{ \left[\frac{\sqrt{3}(R_k + \delta)}{H_{2\rho}} \right]^2 - \left(\frac{\sqrt{3}R_k}{H_{2\rho}} \right)^2 \right\} \frac{H_{3\rho}^3}{3} = \quad ; \\
&= \pi\rho \left\{ \frac{H_{3\rho}}{3(H_{3\rho} + \delta)^2} \left[(0,5D_k + \delta)^2 H_{3\rho}^2 - 0,25D_k^2 (H_{3\rho} + \delta)^2 \right] + \right. \\
&\quad \left. \delta(D_k + \delta)H_{2\rho} \right\}
\end{aligned}$$

* - порядковий номер формули (2.Б.1.2)

Порядок спрощення залежності (2.16)

$$\begin{aligned}
m_{26\rho} &= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(R_k + \delta)}{H_{3\rho} + \delta} \right]^2 - \left(\frac{R_k}{H_{3\rho}} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \Big|_0^{H_{3\rho}} + \\
&\quad + \left\{ \left[\frac{\sqrt{3}(R_k + \delta)}{l_k - H_{3\rho}} \right]^2 - \left(\frac{\sqrt{3}R_k}{l_k - H_{3\rho}} \right)^2 \right\} \frac{Z^3}{3} \Big|_0^{l_k - H_{3\rho}} + \delta(2R_k + \delta)Z \Big|_0^{H_{1\rho}} = \\
&= \pi\rho \left\{ \left[\frac{(R_k + \delta)}{H_{3\rho} + \delta} \right]^2 - \left(\frac{R_k}{H_{3\rho}} \right)^2 \right\} \frac{H_{3\rho}^3}{3} + \left\{ \left[\frac{\sqrt{3}(R_k + \delta)}{l_k - H_{3\rho}} \right]^2 - \left(\frac{\sqrt{3}R_k}{l_k - H_{3\rho}} \right)^2 \right\} \frac{H_{1\rho}^3}{3} = \\
&= \pi\rho \left\{ \frac{H_{3\rho}}{3(H_{3\rho} + \delta)^2} \left[(0,5D_k + \delta)^2 H_{3\rho}^2 - 0,25D_k^2 (H_{3\rho} + \delta)^2 \right] + \right. \\
&\quad \left. + \delta(D_k + \delta)(L_k - H_1 - H_{3\rho}) + \delta H_{1\rho}(D_k + \delta) \right\}
\end{aligned}$$

* - порядковий номер формули (3.Б.1.2)

Додаток Б.2.2

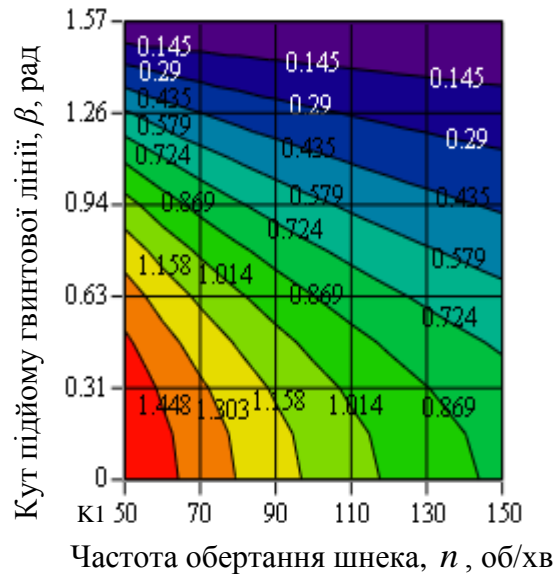


Рис. 1.Б.2.2. Залежність зміни коефіцієнта технологічної взаємодії

$$K_T = f(\beta, n) \text{ як функції}$$

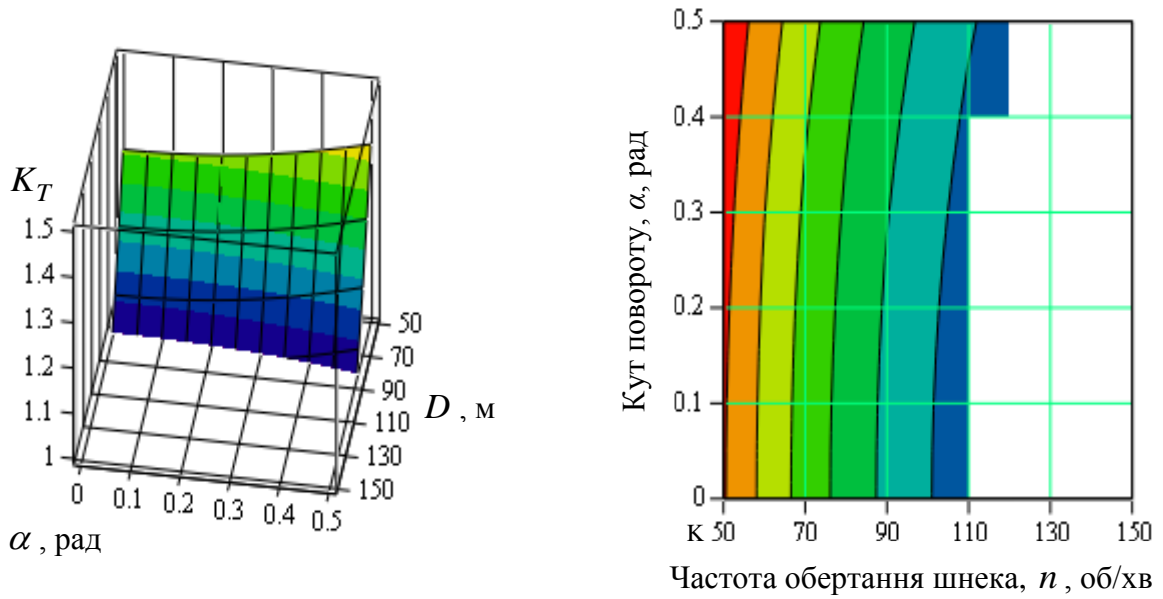


Рис. 2.Б.2.2. Залежність зміни коефіцієнта технологічної взаємодії як

$$\text{функції } K_T = f(\alpha, n)$$

Додаток В.1.1

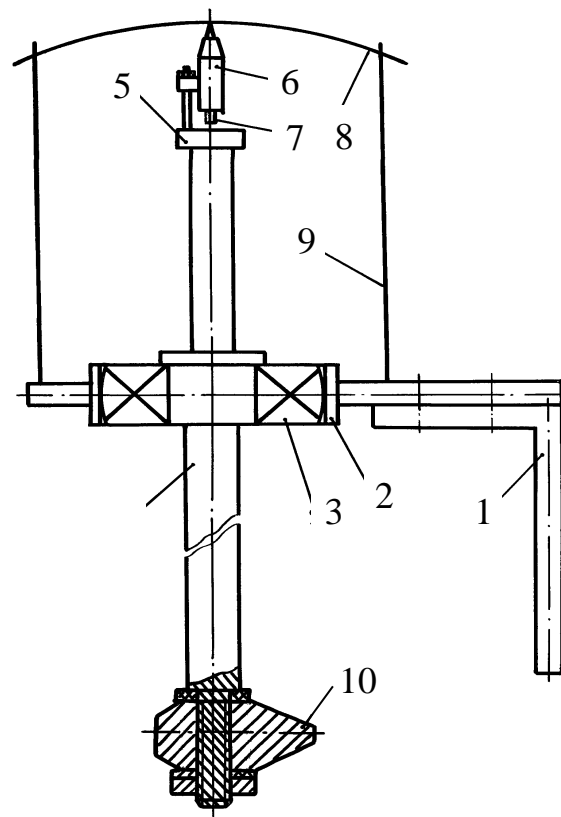


Рис. 1.В.1.1. Конструктивна схема маятникового копра:

- 1 – кронштейн; 2 – кульова опора ; 3 – сферичний підшипник;
 4 – нижня вісь маятника; 5 – верхня вісь маятника; 6 – корпус;
 7 – підпружинений олівець; 8 – півкульова поверхня; 9 – стояк

Додаток В.2.1

Таблиця 1.В.2.1

Технічна характеристика удосконаленої коренезбиральної машини МКК-6

Найменування показника	Значення показника	
	Межі регулювання	При проведенні досліджень серійна/удосконалена
Тип	самохідна	
Агрегативання	-	
Конструктивна ширина захвату, м	2,7	
Кількість рядків	6	6/6
Ширина міжрядь, м	0,45	0,45/0,45
Робоча швидкість руху, м/с	1,0...1,6	1,5/1,5
Глибина ходу викопувальних дисків, м	0,05...0,12	0,09/0,09
Поступальна швидкість руху повздовжнього транспортера, м/с	1,5	1,5/1,5
Поступальна швидкість руху горизонтального транспортера, м/с	1,5	-/1,5
Діаметр шнека, м	0,6	-/0,6
Крок шнека, м	0,7	-/0,7
Висота витків шнека, м	0,25	-/0,25
Кількість заходів гвинтової лінії	1	-/1
Довжина очисних елементів, м	0,25	-/0,25
Діаметр очисних елементів, мм	4,0	-/4,0
Частота обертання шнека, об/хв	92...158	-/110
Радіальний зазор між транспортером і гвинтом, см	1,0...15,0	-/7,0
Радіальний зазор між транспортером і нижнім відминальним вальцем, см	1,0...5,0	-/5,0
Частота обертання відминальних вальців, об/хв	450	-/450
Поступальна швидкість руху гірки, м/с	1,0...1,5	-/1,2
Кут встановлення полотна гірки відносно вертикальної площини, град.	35...65	-/55
Поступальна швидкість руху поперечного транспортера, м/с	1,5	1,5/1,5
Поступальна швидкість руху вивантажувального транспортера, м/с	1,1	1,1/1,1

План-матриця експерименту типу ПФЕ 3³

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів				Параметр оптимізації, $Y_i = h_n; V_{ck}^e; K_T^e$			Середні значення Y_i
									Повторюваність			
	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	1	2	3	$Y_{сер.}$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1c}
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{2c}
3	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{3c}
4	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{4c}
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{5c}
6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}
7	+1	-1	0	-1	0	+1	0	0	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{7c}
8	+1	+1	0	-1	0	-1	0	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{8c}
9	+1	0	0	-1	0	0	0	0	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{9c}
10	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y_{101}	Y_{102}	Y_{103}	Y_{10c}
11	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	Y_{111}	Y_{112}	Y_{113}	Y_{11c}
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	Y_{121}	Y_{122}	Y_{123}	Y_{12c}
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y_{131}	Y_{132}	Y_{133}	Y_{13c}
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y_{141}	Y_{142}	Y_{143}	Y_{14c}
15	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	Y_{151}	Y_{152}	Y_{153}	Y_{15c}
16	+1	-1	0	+1	0	-1	0	0	Y_{161}	Y_{162}	Y_{163}	Y_{16c}
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	0	Y_{171}	Y_{172}	Y_{173}	Y_{17c}
18	+1	0	0	+1	0	0	0	0	Y_{181}	Y_{182}	Y_{183}	Y_{18c}
19	+1	-1	-1	0	+1	0	0	0	Y_{191}	Y_{192}	Y_{193}	Y_{19c}
20	+1	+1	-1	0	-1	0	0	0	Y_{201}	Y_{202}	Y_{203}	Y_{20c}
21	+1	0	-1	0	0	0	0	0	Y_{211}	Y_{212}	Y_{213}	Y_{21c}
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	0	Y_{221}	Y_{222}	Y_{123}	Y_{22c}
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	0	Y_{231}	Y_{232}	Y_{233}	Y_{23c}
24	+1	0	+1	0	0	0	0	0	Y_{241}	Y_{242}	Y_{243}	Y_{24c}
25	+1	-1	0	0	0	0	0	0	Y_{251}	Y_{252}	Y_{253}	Y_{25c}
26	+1	+1	0	0	0	0	0	0	Y_{261}	Y_{262}	Y_{263}	Y_{26c}
27	+1	0	0	0	0	0	0	0	Y_{271}	Y_{272}	Y_{273}	Y_{27c}

Додаток В.4.4

Умови проведення порівняльних польових випробувань модернізованої і серійної коренезбиральних машин МКК-6

Найменування показників	Значення показників за даними вимірювань
Тип ґрунту і назва за механічним складом	Чорнозем опідзолений, легкосуглинковий
Рельєф поля	Рівнинний
Мікрорельєф ділянки	Рівний
Вологість ґрунту, % у шарі, см: від 0 до 5 більше 5 до 10 більше 10 до 20	18,4 21,3 22,1
Щільність ґрунту, МПа в шарі, см: від 0 до 5 більше 5 до 10 більше 10 до 20	1,5 2,3 2,9
Кількість бур'янів на 1 м ² , шт.; кг/м ²	до 15; 1,5

Характеристика плантації та кормових буряків

Найменування показників	Значення показників
Сорт кормових буряків	«Київський»
Ширина міжрядь, см: середня - середньоквадратичне відхилення, ± см	44,8 0,86
Урожайність коренеплодів, ц/га	451,0
Густота насаджень рослин, тис. шт./га	76,3
Врожайність гички, ц/га	93,4
Відстань між коренеплодами в рядку, м	0,2...0,27
Діаметр коренеплодів, м	0,07...0,18
Розмір коренеплодів за групами, мм: - великі діаметр коренеплодів довжина коренеплодів - середні діаметр коренеплодів довжина коренеплодів - дрібні діаметр коренеплодів довжина коренеплодів	120 240 70 130 45 100
Співвідношення груп коренеплодів за масою, %	70,1/25,5/4,4
Відхилення коренеплодів від осьової лінії рядка, ±см	до 3,8
Висота розташування головок коренеплодів над поверхнею ґрунту, ± см	3,8...8,6
Втрати гички на поверхні поля, кг/м ²	0,15
Середня довжини залишків гички на головках коренеплодів, см	0,07
Маса залишків гички на головках коренеплодів, кг/м ²	0,15

Результати ПФЕ 3^2 при дослідженні
поправочного коефіцієнта λ_{1S}

№ досл.	Рівні факторів		Співвідношення бічних площ тіла коренеплоду, $\sum S_{\rho} / \sum S_{k.n} = \lambda_{1S}$				Параметр оптимізації, $Y_{ij} = \lambda_{1S}$			Серед. значення, $Y_c = \lambda_{1S}$
			Повторність			Середнє значення	Повторність			
	x_1	x_2	1	2	3		1	2	3	Y_c
1,10,19	+1	+1	216,0/372,5	173,7/294,3	177,4/328,5	189,0/331,8	0,58	0,59	0,54	0,57
2,11,20	0	+1	137,6/241,4	161,5/273,7	131,9/216,2	143,7/243,8	0,57	0,59	0,61	0,59
3,12,21	-1	+1	93,1/150,1	97,3/167,6	114,0/190,0	101,5/169,2	0,62	0,58	0,6	0,6
4,13,22	+1	0	130,4/210,3	154,7/238,4	128,1/188,4	137,7/212,4	0,62	0,65	0,68	0,65
5,14,23	0	0	112,1/175,1	90,0/138,4	102,0/154,5	101,4/156,0	0,64	0,65	0,66	0,64
6,15,24	-1	0	63,3/107,3	61,5/96,1	79,1/121,6	68,0/108,3	0,59	0,64	0,63	0,62
7,16,25	+1	-1	77,3/105,9	79,3/118,3	93,8/134,1	83,5/119,4	0,73	0,67	0,7	0,7
8,17,26	0	-1	57,4/86,9	68,0/98,5	51,4/77,8	58,9/87,7	0,66	0,69	0,66	0,67
9,18,27	-1	-1	46,5/68,4	36,8/54,1	40,4/60,3	41,2/60,9	0,68	0,63	0,67	0,66

Результати ПФЕ 3^2 при дослідженні маси налиплого m_{1ap}^e ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплоду та поправочного коефіцієнта

№ досл.	Рівні факторів		Параметр оптимізації, $Y_{ij} = m_{1ap}^e$, Г			Середнє значення, $Y_c = m_{1ap}^e$	Параметр оптимізації, $Y_{ij} = m_{1ap}^e / m_{1ap} = \lambda_s$			Середнє значення, $Y_c = \lambda_s$
			Повторність				Повторність			
	x_1	x_2	1	2	3	Y_c , Г	1	2	3	Y_c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,10,19	+1	+1	72,5	68,5	70,5	70,5	0,58	0,54	0,56	0,56
2,11,20	0	+1	47,3	50,0	48,2	48,5	0,55	0,59	0,57	0,57
3,12,21	-1	+1	40,1	36,7	36,3	37,7	0,61	0,57	0,56	0,58
4,13,22	+1	0	49,6	48,4	53,2	50,4	0,62	0,61	0,66	0,63
5,14,23	0	0	37,6	39,2	38,4	38,4	0,63	0,65	0,64	0,64
6,15,24	-1	0	23,5	26,1	28,4	26,0	0,59	0,65	0,71	0,65
7,16,25	+1	-1	30,4	29,6	29,7	29,9	0,69	0,67	0,67	0,68
8,17,26	0	-1	23,5	22,1	24,9	23,5	0,69	0,65	0,73	0,69
9,18,27	-1	-1	15,2	17,6	17,6	16,8	0,64	0,73	0,73	0,7

Результати експериментів при дослідженні поправочного коефіцієнта λ_S

$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	112,1/175,1	90,0/138,4	102,0/154,5	33,5/65,7	161,5/273,7
λ_S	0,65	0,66	0,64	0,51	0,59
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	91,1/165,7	46,5/68,4	36,8/54,1	40,4/60,3	123,5/237,4
λ_S	0,55	0,68	0,63	0,67	0,52
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	28,8/57,6	83,2/115,5	216,0/372,5	173,7/294,3	177,4/328,5
λ_S	0,5	0,72	0,58	0,59	0,54
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	143,7/243,8	63,3/107,3	61,5/96,1	79,1/121,6	67,9/135,7
λ_S	0,59	0,59	0,64	0,63	0,5
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	137,6/241,4	161,5/273,7	131,9/216,2	35,0/71,5	94,9/135,6
λ_S	0,57	0,59	0,61	0,49	0,7
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	189,0/331,8	57,4/86,9	68,0/98,5	51,4/77,8	101,5/169,2
λ_S	0,57	0,66	0,69	0,66	0,6
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	101,4/156,0	58,9/87,7	93,1/150,1	97,3/167,6	114,0/190,0
λ_S	0,64	0,67	0,62	0,58	0,6
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	77,3/105,9	79,3/118,3	93,8/134,1	83,5/119,4	137,7/212,4
λ_S	0,73	0,67	0,7	0,7	0,65
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	41,2/60,9	130,4/210,3	154,7/238,4	128,1/188,4	68,0/108,3
λ_S	0,66	0,62	0,65	0,68	0,62
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	123,5/237,4	94,9/135,6	40,6/67,6	180,3/295,5	83,2/115,5
λ_S	0,52	0,7	0,6	0,61	0,72
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	180,3/295,5	35,0/71,5	101,4/156,0	77,0/120,3	137,6/241,4
λ_S	0,61	0,49	0,64	0,64	0,57
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	93,8/134,1	114,0/190,0	175,0/277,7	68,0/98,5	216,0/372,5
λ_S	0,7	0,6	0,63	0,69	0,58
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	40,6/67,6	28,8/57,6	117,8/235,5	137,6/241,4	33,5/65,7
λ_S	0,6	0,5	0,5	0,57	0,51
$\sum S_\rho / \sum S_{k.n}$	35,0/71,5	102,0/154,5	97,3/167,6	57,4/86,9	83,5/119,4
λ_S	0,49	0,64	0,58	0,66	0,7

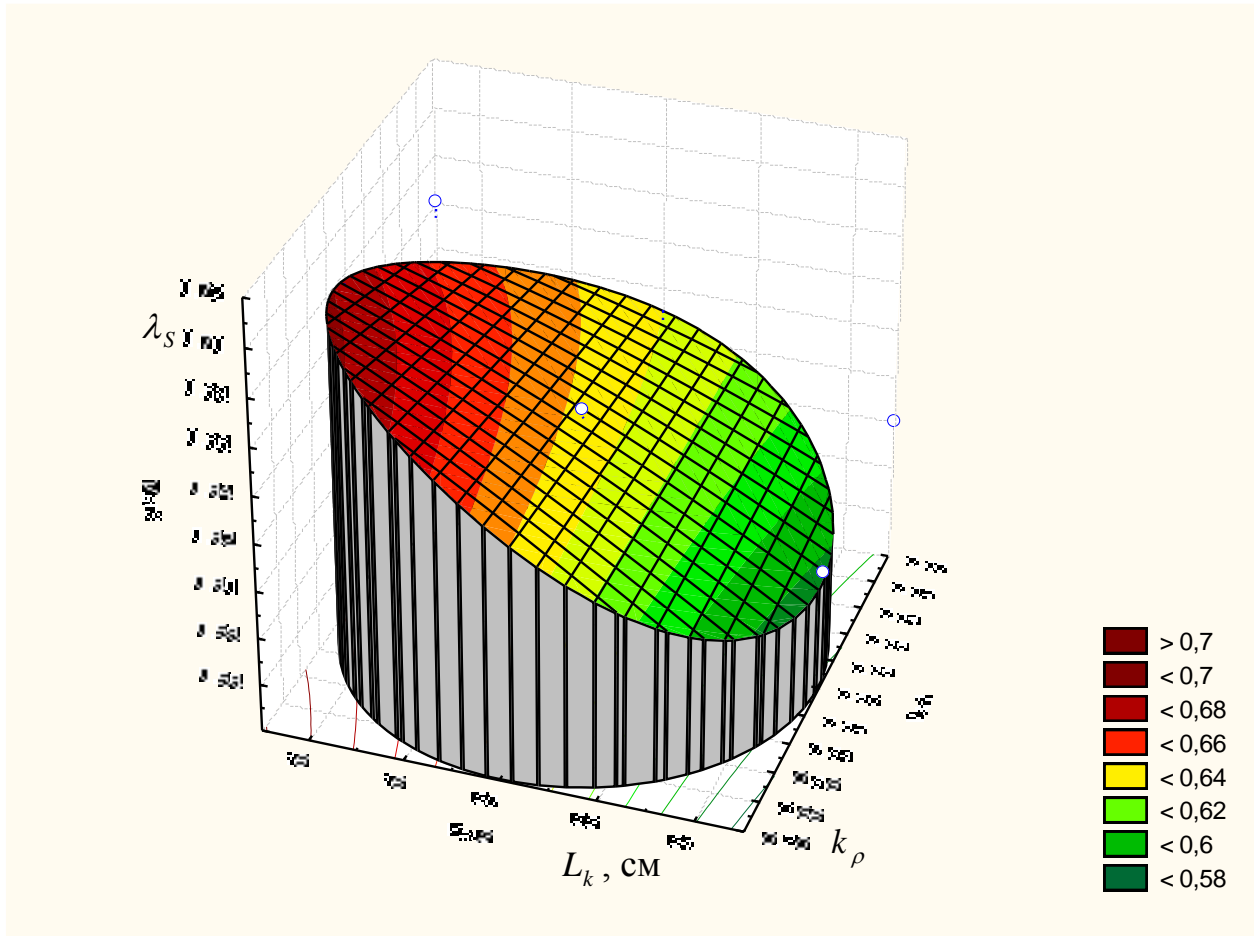


Рис. 1.Г.2.1. Об'ємна тривимірна діаграма розподілу основного експериментального масиву поправочного коефіцієнта як функціонала

$$\lambda_s = f(k_\rho; L_k)$$

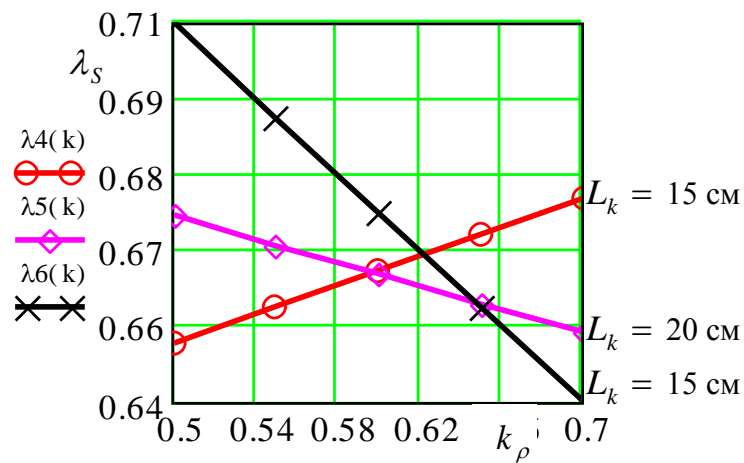


Рис. 2.Г.2.1. Залежність зміни поправочного коефіцієнта $\lambda_s = f(k_\rho)$

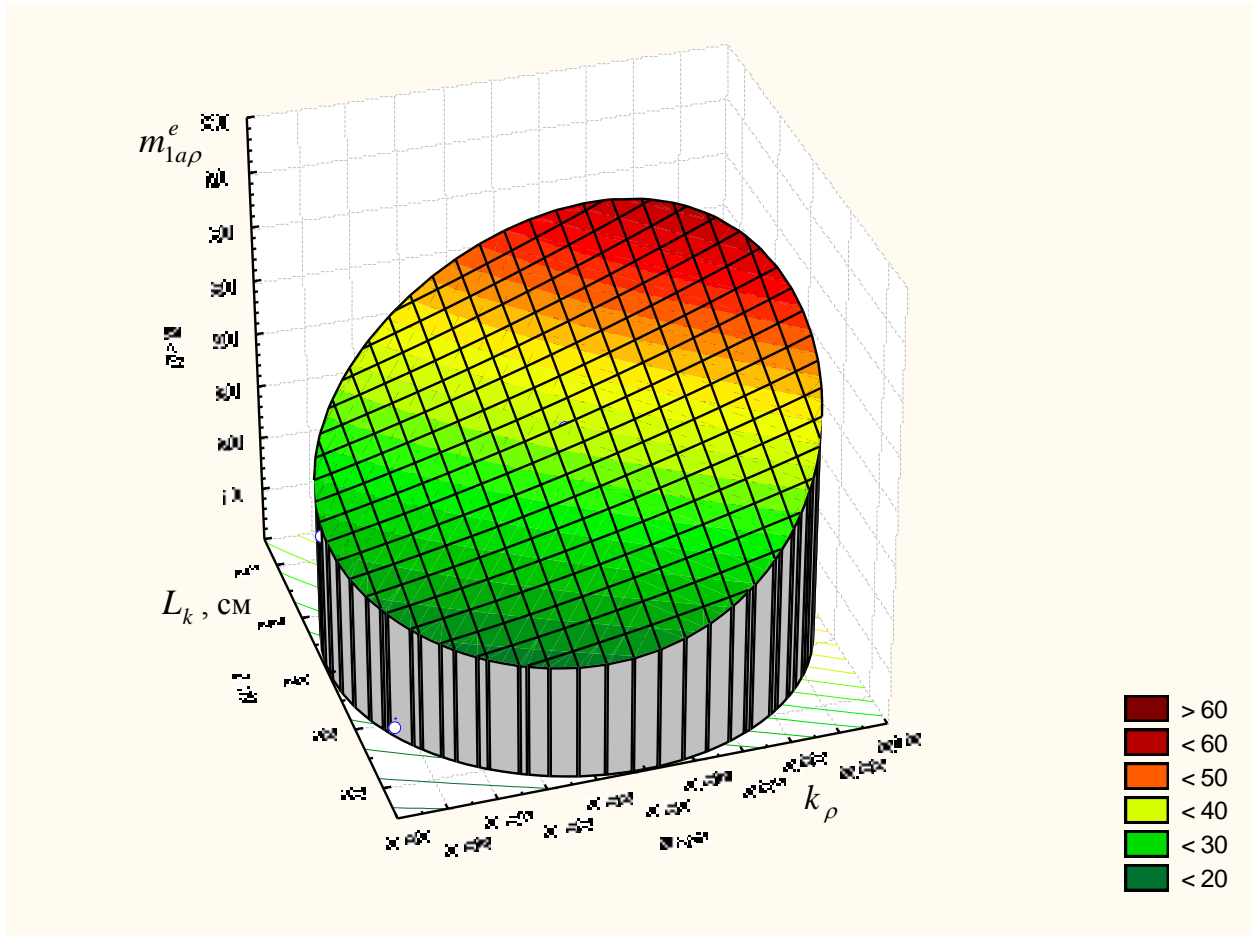


Рис. 1.Г.3.1. Об'ємна тривимірна діаграма розподілу основного експериментального масиву маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків як функціонала $m_{1ap}^e = f(k_\rho; L_k)$

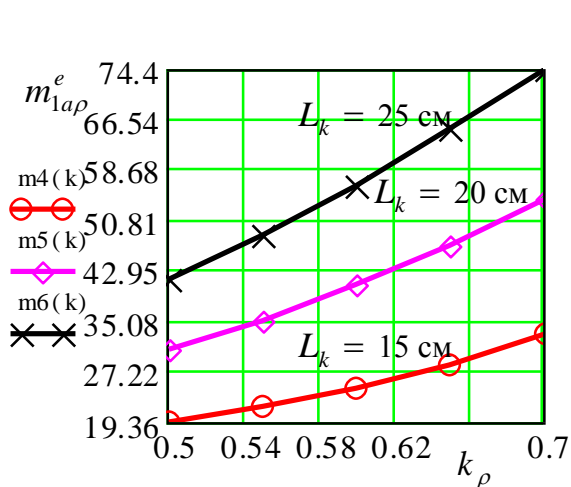


Рис. 2.Г.3.1. Залежність зміни $m_{1ap}^e = f(k_\rho)$

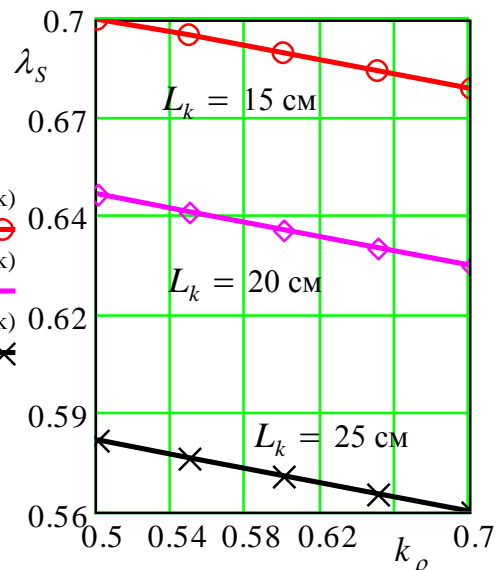


Рис. 3.Г.3.1. Залежність зміни $\lambda_s = f(k_\rho)$

Результати досліджень глибини пошкодження h_n тіла кормових буряків

№ досл.	Рівні факторів			Параметр оптимізації, $Y_{ij} = h_n$, мм			Середні значення $Y_c = h_n$
				Повторюваність			
	x_1	x_2	x_3	1	2	3	Y_c , мм
1	50,0	0,4	1,0	0	0	0	0
2	150,0	0,4	1,0	4	6	5	5
3	100,0	0,4	1,0	0	0	0	0
4	50,0	0,8	1,0	3	3	3	3
5	150,0	0,8	1,0	35	30	31	33
6	100,0	0,8	1,0	11	15	13	13
7	50,0	0,6	1,0	0	0	0	0
8	150,0	0,6	1,0	16	14	18	16
9	100,0	0,6	1,0	8	8	8	8
10	50,0	0,4	2,0	0	0	0	0
11	150,0	0,4	2,0	19	23	21	21
12	100,0	0,4	2,0	9	11	13	11
13	50,0	0,8	2,0	16	15	14	15
14	150,0	0,8	2,0	48	44	41	45
15	100,0	0,8	2,0	22	29	24	25
16	50,0	0,6	2,0	3	4	2	3
17	150,0	0,6	2,0	29	28	33	30
18	100,0	0,6	2,0	18	18	15	17
19	50,0	0,4	1,5	0	0	0	0
20	150,0	0,4	1,5	20	16	15	17
21	100,0	0,4	1,5	6	6	6	6
22	50,0	0,8	1,5	2	6	6	6
23	150,0	0,8	1,5	37	40	38	38
24	100,0	0,8	1,5	20	15	19	18
25	50,0	0,6	1,5	0	0	0	0
26	150,0	0,6	1,5	17	19	24	20
27	100,0	0,6	1,5	15	10	14	13

Результати досліджень сумарної швидкості співудару V_{ck}^e кормових буряків

№ досл.	Рівні факторів			Параметр оптимізації, $Y_{ij} = V_{ck}^e$, м/с			Середні значення $Y_c = V_{ck}^e$
				Повторюваність			
	x_1	x_2	x_3	1	2	3	Y_c , мм
1	50,0	0,4	1,0	2,28	2,2	2,21	2,23
2	150,0	0,4	1,0	3,63	3,71	3,65	3,69
3	100,0	0,4	1,0	2,66	2,65	2,7	2,67
4	50,0	0,8	1,0	2,88	2,94	2,91	2,91
5	150,0	0,8	1,0	4,85	4,87	4,83	4,85
6	100,0	0,8	1,0	4,27	4,21	4,21	4,23
7	50,0	0,6	1,0	2,43	2,39	2,41	2,41
8	150,0	0,6	1,0	4,56	4,64	4,63	4,61
9	100,0	0,6	1,0	3,3	3,36	3,39	3,35
10	50,0	0,4	2,0	2,15	2,07	2,21	2,13
11	150,0	0,4	2,0	3,56	3,54	3,55	3,55
12	100,0	0,4	2,0	2,6	2,52	2,53	2,55
13	50,0	0,8	2,0	2,81	2,73	2,77	2,77
14	150,0	0,8	2,0	4,69	4,67	4,65	4,67
15	100,0	0,8	2,0	3,98	4,11	4,12	4,07
16	50,0	0,6	2,0	2,19	2,36	2,32	2,29
17	150,0	0,6	2,0	4,45	4,48	4,42	4,45
18	100,0	0,6	2,0	3,28	3,15	3,2	3,21
19	50,0	0,4	1,5	2,23	2,13	2,18	2,18
20	150,0	0,4	1,5	3,6	3,62	3,64	3,62
21	100,0	0,4	1,5	2,7	2,58	2,55	2,61
22	50,0	0,8	1,5	2,79	2,87	2,86	2,84
23	150,0	0,8	1,5	4,76	4,72	4,8	4,76
24	100,0	0,8	1,5	4,18	4,12	4,15	4,15
25	50,0	0,6	1,5	2,33	2,42	2,3	2,35
26	150,0	0,6	1,5	4,51	4,5	4,58	4,53
27	100,0	0,6	1,5	3,31	3,28	3,25	3,28

Результати досліджень коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду K_T^e

№ досл.	Рівні факторів			Параметр оптимізації, $Y_{ij} = K_T^e$			Середні значення $Y_c = K_T^e$
				Повторюваність			
	x_1	x_2	x_3	1	2	3	Y_c
1	50,0	0,4	1,0	1,36	1,41	1,4	1,39
2	150,0	0,4	1,0	0,85	0,83	0,84	0,84
3	100,0	0,4	1,0	1,16	1,17	1,15	1,16
4	50,0	0,8	1,0	1,08	1,06	1,07	1,07
5	150,0	0,8	1,0	0,64	0,64	0,64	0,64
6	100,0	0,8	1,0	0,73	0,75	0,74	0,74
7	50,0	0,6	1,0	1,28	1,3	1,29	1,29
8	150,0	0,6	1,0	0,68	0,67	0,66	0,67
9	100,0	0,6	1,0	0,94	0,92	0,92	0,93
10	50,0	0,4	2,0	1,44	1,5	1,41	1,45
11	150,0	0,4	2,0	0,87	0,87	0,87	0,87
12	100,0	0,4	2,0	1,2	1,23	1,23	1,22
13	50,0	0,8	2,0	1,1	1,14	1,12	1,12
14	150,0	0,8	2,0	0,66	0,66	0,66	0,66
15	100,0	0,8	2,0	0,78	0,75	0,75	0,76
16	50,0	0,6	2,0	1,4	1,31	1,34	1,35
17	150,0	0,6	2,0	0,7	0,7	0,7	0,7
18	100,0	0,6	2,0	0,95	0,99	0,97	0,97
19	50,0	0,4	1,5	1,39	1,45	1,42	1,42
20	150,0	0,4	1,5	0,87	0,86	0,85	0,86
21	100,0	0,4	1,5	1,16	1,2	1,21	1,19
22	50,0	0,8	1,5	1,11	1,08	1,08	1,09
23	150,0	0,8	1,5	0,65	0,66	0,64	0,65
24	100,0	0,8	1,5	0,75	0,75	0,75	0,75
25	50,0	0,6	1,5	1,33	1,28	1,35	1,32
26	150,0	0,6	1,5	0,7	0,69	0,68	0,69
27	100,0	0,6	1,5	0,95	0,95	0,95	0,95

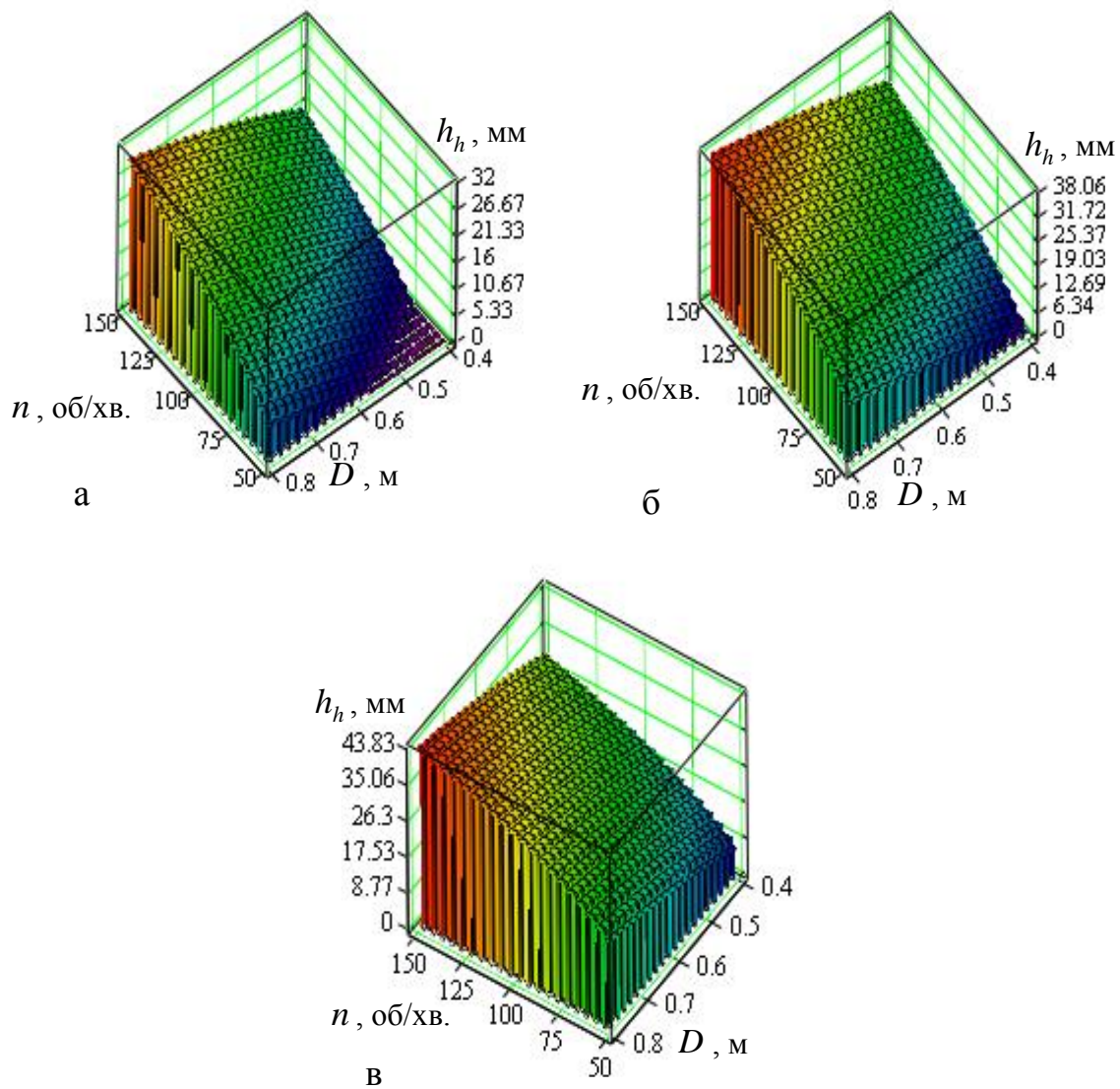


Рис. 1.Г.5.2. Поверхня відгуку зміни h_n , як функції:
а - $h_n = f(D, n)$; б - $h_n = f(D, m_k)$; в - $h_n = f(n, m_k)$

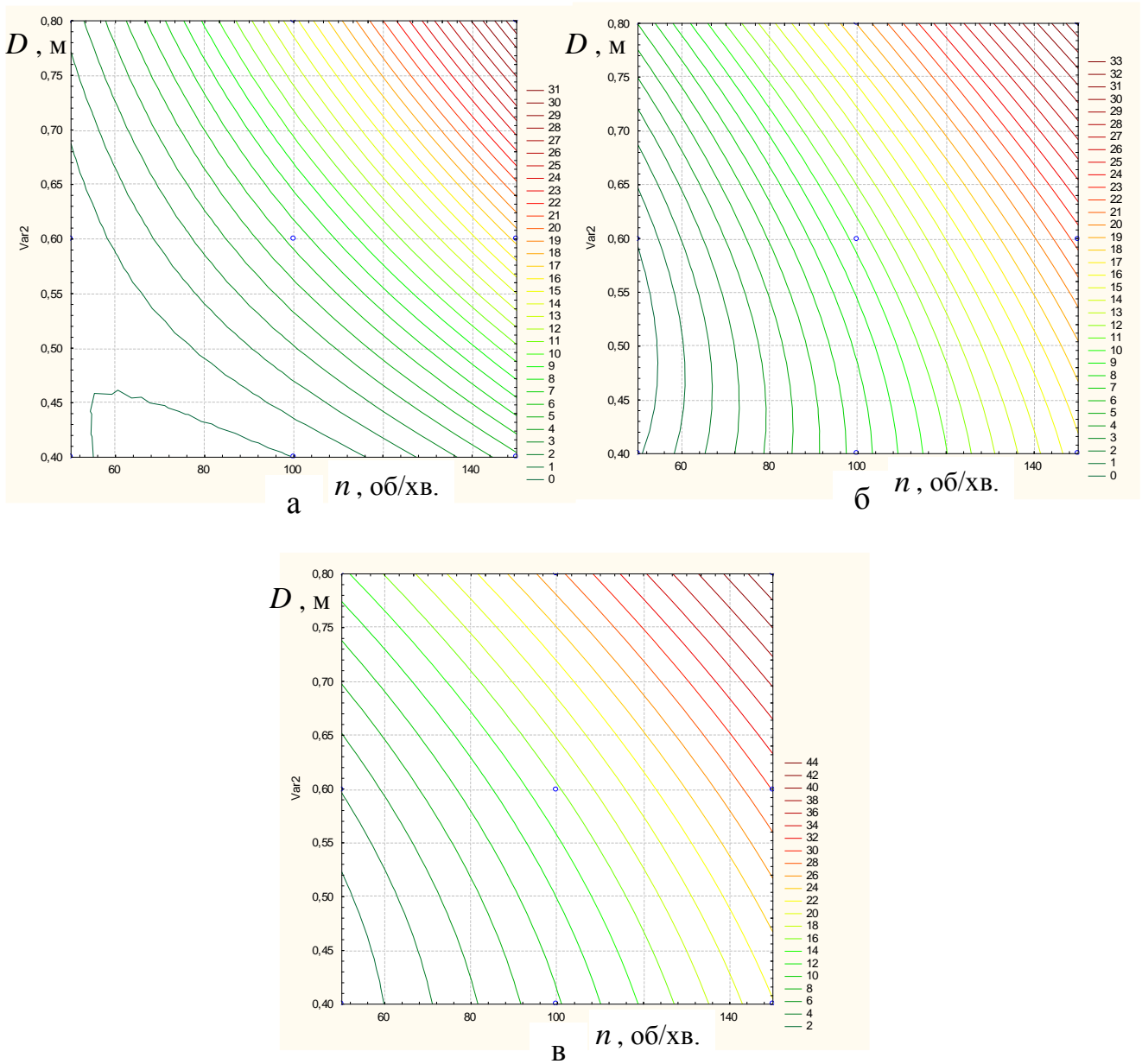


Рис. 1.Г.6.2. Двомірний переріз поверхні відгуку глибини рани h_n^i :

$$а - h_n^{1.0} = f(n, D); \quad б - h_n^{1.5} = f(n, D); \quad в - h_n^{2.0} = f(n, D);$$

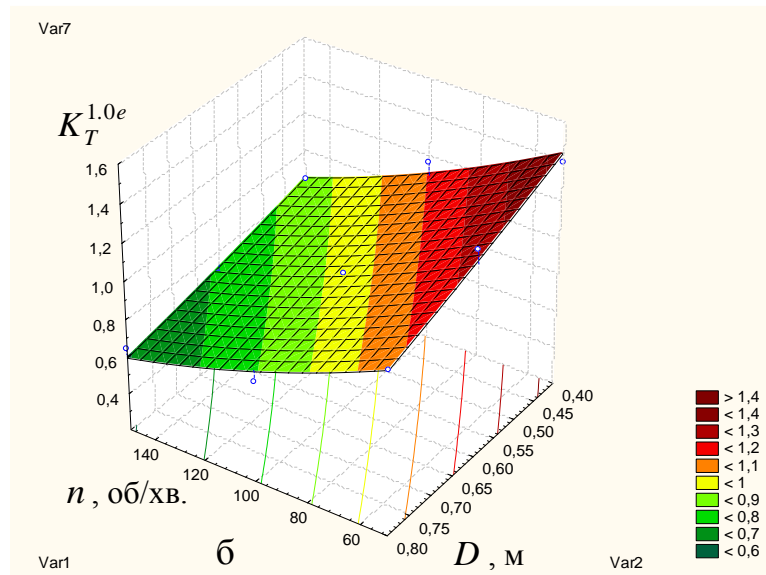
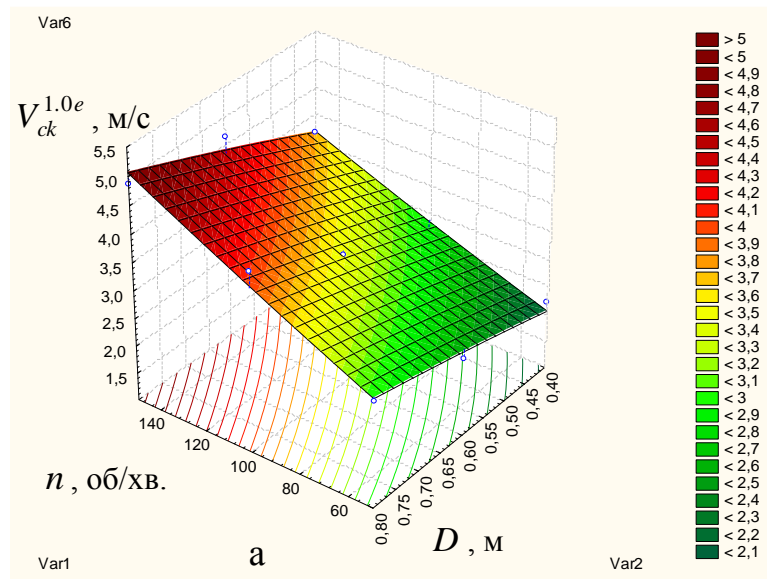


Рис. 1.Г.7.2. Поверхня відгуку залежності:

$$а - V_{ck}^{1.0e} = f(n, D); \quad б - K_T^{1.0e} = f(n, D)$$

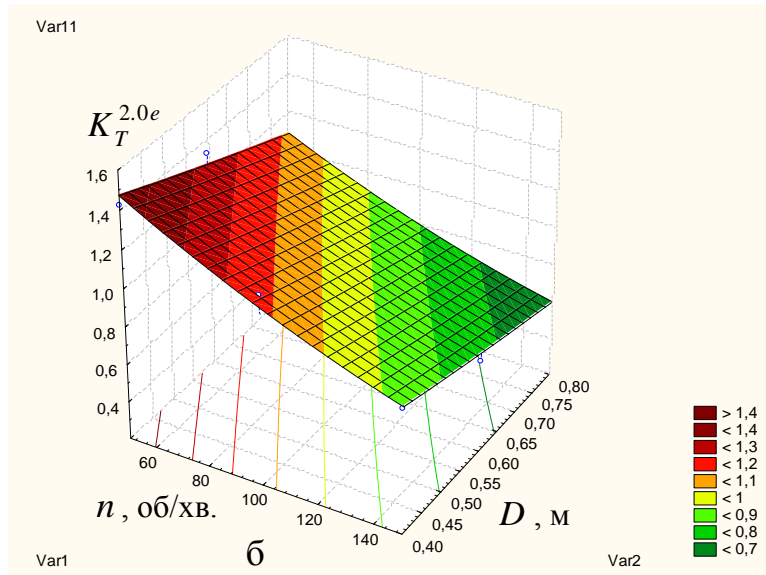
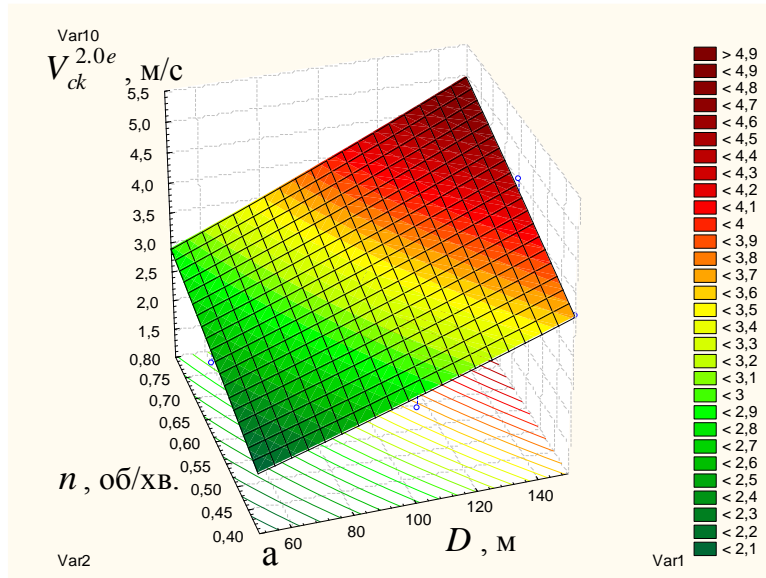


Рис. 2.Г.7.2. Поверхня відгуку залежності:

а - $V_{ck}^{2.0e} = f(n, D)$; б - $K_T^{2.0e} = f(n, D)$

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агропромисловий ринок України: стан, тенденції та перспективи розвитку : [інформаційно-аналітичний зб. / за ред. П.Т. Саблука]. – К. : ІАЕ, 2000. – Вип. 4. – 601 с.
2. Кравчук В.І. Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарської техніки /В.І. Кравчук, М.І. Грицишин, С.М. Коваль // – К. : Аграрна наука, 2004. – 353 с.
3. Погорельый Л.В. Научно-методические принципы обоснования и прогнозирования направлений развития сельскохозяйственной техники нового поколения и гибкие технологические системы / Л.В. Погорельый // Наук. вісник НАУ – 1999. – Т VI. – С. 9–19.
4. Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет [Погорельый Л.В., Татьяна Н.В., Брей В.В.и др.] ; под ред. Л.В. Погорелого. – К. : Техніка, 1983. – 168 с.
5. Шевцов І.А. Біологія і агротехніка кормових буряків / І.А. Шевцов, А.М. Фомічов – К. : Наукова думка. – 1980. – 250 с.
6. Погорельый Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорельый, М.В. Татьяна – К. : Феникс, 2004. – 232 с.
7. Барановський В.М. Конструктивно-технологічні принципи адаптованого застосування коренезбиральних машин / В.М. Барановський, М.Р. Паньків // Зб. наук. праць 1-ої міжн. наук.-практ. конф. “Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин”. – Тернопіль, 2004. – С. 192–198.
8. Гурченко О.П. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А / О.П. Гурченко, В.М. Барановський // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 1995. – Вип. 81. – С. 57–60.
9. Барановський В. Основні етапи та загальні принципи сучасних тенденцій розвитку коренезбиральних машин / Віктор Барановський // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2006. – Т. 11, № 2. – С. 67–75.
10. Бурякозбиральна техніка: концепція та напрямки сучасного розвитку і прогноз на перспективу / Леонід Погорілий, Дмитро Рева, Георгій Смакоуз [та ін.] // Техніка АПК. –1987. – № 2. – С. 15–18.
11. Mindin R.D. Effects of an oscillating tangential force on the contact surfaces of elastic spheres / R.D. Mindin, W.P. Mason, H. Derisiewich //Proc. First.

Nat.Cong. Appl. Mech. Chicago. – 1951. – p. 203–208.

12. Василенко А.А. Бурякозбиральні машини ОНТИ / Василенко А.А. Держ. наук.-техн. видавництво України. – Київ-Харків, 1937. – 340 с.

13. Василенко А.А. Шляхи створення радянського бурякозбирального комбайна / Василенко А.А. // Наукові праці інституту машинознавства і сільськогосподарської механіки. – Том II. – 1950. – 54 с.

14. Машины для свекловодства / [А.Г. Цымбал, Н.В. Татьяна, В.С. Басин и др.]. – М. : Машиностроение, 1976. – 368 с.

15. О механизации сельского хозяйства США и Канады / М: ЦБТИ. – 1955. – 128 с.

16. Mindin R.D. Calculation of mass descriptions of root crops / R.D. Mindin // Proc.First. at.Cong. Appl. Mech. Chicago. – 1953. – p. 25–30.

17. Kanafojski Cz. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych / Cz. Kanafojski, T. Karwowski // Maczyny do zbioru ziemioplodow. – Warszawa: PWRiL, 1972. – Т.2 – 933 str.

18. Ždarsky I. Biologiche a fyzikalne mechanicke vlastnosti cukrovky z hlediska mechanizace sklrne / I. Ždarsky // Zemědelska technika. –1964. – № 11. – S. 657– 672.

19. Аванесов Ю.Б. Современные методы и средства механизации уборки сахарной свеклы / Ю.Б. Аванесов. – М. : ВНИИТЭИагропром. – 1987. – 52с.

20. Аванесов Ю.Б. Свеклоуборочные машины / Ю.Б. Аванесов, В.И. Бессарабов, И.И. Русанов. – М., 1979. – 351 с.

21. Погорелый Л.В. Технологические и технические основы совершенствования механизированных процессов уборки сахарной свеклы : автореф. дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Л.В. Погорелый. – К., 1974. – 41 с.

22. Погорелый Л.В. Системный принцип прогнозирования типажа свеклоуборочных машин / Л.В. Погорелый // Механизация и электрификация соц. сельск. хоз-ва. – 1975. – № 9. – С. 6–11.

23. Коньгин А.А. Фермерское хозяйство США / Коньгин А.А. – М. : ВЦ “Агропромиздат”. – 1989. – 207 с.

24. Ушаков А.Ф. Комплексная механизация уборки сахарной свеклы / А.Ф. Ушаков. – Изд-во УАСХН., 1969. – 245 с.

25. Татьянако Н.В. Выбор размера бункера свеклоуборочного комбайна / Н.В. Татьянако // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. – 1987. – № 5. – С. 53.

26. Тенденції розвитку машин для збирання цукрових буряків / Я.І. Козіброда. – Тернопіль : Збруч. – 1996. – 91 с.

27. Lanovsky M. Fyzikalne vlastnosti cukrovky / M. Lanovsky, I. Zdarsky – Zemědělska technika. – 1966. – № 3. – S. 331–340.

28. Татьянако Н.В. Раздельная уборка сахарной свеклы / Н.В. Татьянако, Л.В. Погорелый, А.Г. Цымбал // Сахарная свекла. – 1972. – № 1. – С. 24–28.

29. Сельское хозяйство Великобритании. – М. : ВИНТИ, 1969. – 13 с.

30. Krumov I. Varringerung der Verluste beider Zuckerrübenerte / I. Krumov // Akademie Landwirtschaftswissenschaften der DDR Tagungsbericht. – 1985. – Bd 1. – № 229. – S. 163–168.

31. Модульно-блочные уборочно-транспортные машины нового поколения / Леонид Погорелый, Сергей Коваль, Владимир Шуринов [и др.] // Техніка АПК. – № 1. – 1999. – С. 6.

32. Погорілий М. Технологічні і технічні аспекти вдосконалення бурякозбиральної техніки / Максим Погорілий // Техніка АПК. – 2000. – № 1. – С. 14– 18.

33. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / [Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко, С.В. Синій, В.М. Булгаков, Р.М. Рогатинський та ін.]. – Луцьк, 1999. – 168 с.

34. Напрямки вдосконалення сепаруючих робочих органів коренезбиральних машин / В.М. Барановський, В.Б. Онищенко, В.О. Соломка [та ін.] // Механізація сільськогосподарського виробництва – Т. XII. – 2002. – С. 31–42.

35. Гандзюк М.О. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів доочисника коренеплодів: дис...кандидата техн. наук : 05.05.11 / Гандзюк Микола Олексійович. – Луцьк, 2002. – 163 с.

36. Барановський В.М. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів гвинтово-вальцьового очисника вороху кормових буряків: дис...кандидата техн. наук : 05.20.01 / Барановський Віктор Миколайович. – Київ, 1996. – 275 с.

37. Bulich C. Biotechnische Einflussfaktoren auf die Köpfgualität von Zuckerrüben: inang. diss.../ C. Bulich. – Bonn, 1990. – 153 s.

38. Татьянако Н.В. О вероятностном методе оптимизации систем сельскохозяйственного производства / Н.В. Татьянако // Тр. ВИСХОМ, УкрНИИСХОМ. – М., 1986. – С. 11–20.

39. Механизация производства сахарной свеклы // О.А. Маковецкий, В.В. Брей, Л.В. Погорельый [и др.]. – К. : Урожай, 1991. – 184 с.

40. Перспективи удосконалення засобів механізації збирання цукрових буряків / Микола Роїк, Анатолій Мазуренко, Георгій Смакоуз [та ін.] // Техніка АПК. – 1999. – № 3. – С. 16–22.

41. Кормовая свекла в ГДР / В.Г. Кузьминов, Г.В. Кузьминов, А.Ф. Завгородний [та ін.] // Кормовые культуры. – 1989. – № 3. – С. 26–30.

42. Спеціальні комбайни / [М.В. Тудель, Б.О. Козаченко, В.Г. Герасимчик та ін.]. – К., 1988. – 184 с.

43. Погорілий М. Підвищення експлуатаційно-технологічних характеристик бурякозбиральних машин та формування зональних комплексів / Максим Погорілий // Техніка АПК. – 1998. – № 3. – С. 16–17.

44. Zuckerrüben–Erntesystem sechsreihig: Köpfröder KR 6-II. – Franz Kleine, Maschinenfabri K GmbH Co, 1987. – 4 s.

45. Булгаков В.М. Бурякозбиральна техніка: стан і перспективи її створення / В.М. Булгаков // Техніка АПК. – 1995. – № 3. – С. 5–6.

46. Хвостов В.А. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет) / В.А. Хвостов, Э.С. Рейнгарт. – М. : 1995. – 391 с.

47. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин: конструювання і розрахунок / Р.Б. Гевко. – Тернопіль, 1997. – 120 с.

48. Войтюк Д.Г. Универсальный комплекс свеклоуборочных машин для фермерских хозяйств / Д.Г. Войтюк // Вісник аграрної науки. – 1995. – № 9. – С. 93–98.

49. Погорілий М. Закономірності розвитку бурякозбиральної техніки та обґрунтування раціональних обрисів вітчизняних машин / Максим Погорілий // Техніка АПК. – 1999. – № 3. – С. 8–12.

50. Погорельый Л.В. Повышение эксплуатационно-технологической эффективности сельскохозяйственной техники / Л.В. Погорельый. – К. : Техніка, 1990. – 175 с.

51. Барановський В.М. Удосконалений комбінований робочий орган для

викопування коренеплодів / В.М. Барановський, М.Р. Паньків, В.Ю. Рамш // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2008. – Том 13, № 2. – С. 61–73.

52. Пришляк В.Н. Разработка и обоснование параметров стабилизирующего устройства самоходных кореуборочных машин для работы на склонах : автореф. дисс. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 “Механизация сельскохозяйственного производства” / В.Н. Пришляк. – К. : НАУ, 1990. – 24 с.

53. Петрикович Ю.Я. Тенденції розвитку сепаруючих пристроїв корене-збиральних машин / Ю.Я. Петрикович, М.Р. Паньків // Сільськогосподарські машини. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2000. – Вип. 7. – С. 115–120.

54. Паньків М.Р. Транспортно-сепаруючі робочі органи бурякозбиральних машин / М.Р. Паньків // Сільськогосподарські машини. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2000. – Вип. 7. – С. 108–115.

55. Данильченко М.Г. Розробка і дослідження шнекових та роторних очисників коренеплодів бурякозбиральних комплексів: дис...кандидата техн. наук : 05.05.11 / Данильченко Михайло Григорович. – Тернопіль, 1992. – 153 с.

56. Гевко Р.Б. Вибір конструктивних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин з умови непошкодження коренеплодів / Р.Б. Гевко, В.А. Поліщук // Сільськогосподарські машини. – Волинське відділення ІАУ. – Луцьк, 1997. – С. 109–117.

57. Полупанов В.М. Розробка викопувально-сепаруючого пристрою машини для збирання коренеплодів кормового буряка та обґрунтування його параметрів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / В.М. Полупанов. – Харків, 2003. – 20 с.

58. Напрямки вдосконалення шнекових очисників вороху / В.М. Барановський, О.В. Барановський, О.М. Постол [та ін.] // Науковий вісник НАУ. – Вип. 80, ч. 1. – 2005. – С. 249–255.

59. Паньків М. Аналіз процесу роботи доочисних пристроїв коренезбиральних машин / Марія Паньків, Віктор Барановський, Наталя Дубчак // Вісник ТДТУ. – 2007. – Т. 12, № 1. – С. 76–81.

60. Гевко Б.М. Конструктивно-технологічні схеми сепараційних робочих органів бурякозбиральних машин / Б.М. Гевко, Н.Є. Вивюрка // Вісник ТДТУ. –

Тернопіль, 2000. – Т. 5, № 3. – С. 28–33.

61. Улучшить качество очистки корнеплодов / П.В.Савич, Н.М. Зуев, В.Р. Ярошовец [и др.] // Сахарная. Свекла. – 1980. – № 8. – С. 23–25.

62. Влас Н.Є. Обґрунтування параметрів гвинтового циліндричного сепаратора з радіально зміщеними геометричними осями шнеків: дис...кандидата техн. наук : 05.05.11 / Н.Є. Влас. – Тернопіль, 2004. – 182 с.

63. Василенко М.П. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / М.П. Василенко. – Киев : Из-во Укр. акад. с.-х. наук, 1960. – 283 с.

64. Паньків М.Р. Експериментальні дослідження сепарації вороху коренеплодів кулачково-вальцьовим очисником / М.Р.Паньків, І.Б. Гевко // Науковий вісник НАУ. – К. : НАУ, 2002. – Вип. 80. – С. 253–262.

65. Зубков В.Е. Разработка универсального сепаратора корнеклубнеплодов от комков почв / В.Е. Зубков // Науковий вісник НАУ. – К. : НАУ, 1998. – Т. 9. – С. 204–209.

66. Саржанов О.А. Обґрунтування параметрів високопродуктивного конвейєра та технологічного процесу очищення коренеплодів від ґрунту : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / О.А. Саржанов. – Харків, 2002. – 19 с.

67. Hermanu K. Rodevorgang im Schwingender Polderschar / K. Herrmanu, J. Schuh // Landtechnik. – 4/95. – S. 202–203.

68. Beunk H. Dutch designs to gut tare nountain / H. Beunk, G. Eikel, W. Holtmann // Profitechnical. – № 5. – S. 46–48.

69. Пилипець М.І. Визначення кінематичних і технологічних параметрів кулачкових транспортно-технологічних систем машин / М.І. Пилипець, І.Б. Гевко, М.Р. Паньків // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2000. – Т 3, № 4. – С. 70–77.

70. Гевко Р.Б. Роторные очистители корнеуборочных машин / Р.Б. Гевко // Пути повышения эффективности свеклосахарного производства России в условиях рыночной экономики. – Рамонь, 1996. – С. 19–20.

71. Булгаков В.М. Совершенствование технологического процесса и машин для уборки корнеплодов свеклы : автореф. дис. на соискание уч. степени

докт. техн. наук в формe науцного доклада : спец. 05.20.11 “Механiзацiя сeльсцогохазiйствeнного виробництва” / В.М. Булгаков. – М., 1993. – 61 с.

72. Методика оцiнки ступеня пошкодження коренеплодiв коренезбиральною машиною / В.М. Булгаков, О.Б. Павелчак, Р.Б. Гевко [та iн.] // Механiзацiя сiльсцогохазiйствeнного виробництва. – К. : НАУ, 2000. – Т. 7. – С. 14–19.

73. Булгаков В.М. Розрахунок основних параметрiв технологiчного процесу збирання бурякiв / В.М. Булгаков, М.К. Лiнник, О.П. Гурченко // Механiзацiя сiльсцогохазiйствeнного виробництва”. – Т. VI „Теорiя i розрахунок сiльсцогохазiйствeнських машин”. – К. : НАУ, 1999. – С. 220–225.

74. Погорiлий М.Л. Механiчні характеристики ґрунтового-коренеплiдного середовища цукрових бурякiв в умовах динамiчного навантаження / М.Л. Погорiлий // Мiжвид. науково-техн. зб. – Кiровоград, 1995. – С. 150–158.

75. Аванесов Ю.Б. Обоснование параметров шнекового очистителя свеклоуборочных машин / Ю.Б. Аванесов // Тр. Всес. ин-та механ. сeльск. хоз-ва. – М., 1975. –Т. 72. – С. 23–33.

76. Гевко Б.М. Обґрунтування конструктивно-технологiчних параметрiв гвинтових робочих органiв машин харчової i переробної промисловостi / Б.М. Гевко, Н.Є. Вивюрка // Вiсник Тернопiльського державного технiчного унiверситету. – Тернопiль : ТДТУ, 2000. –Т. 5, № 1. – С. 30–35.

77. Сарапулов А.К. Исследование процесса очистки корней от земли при уборке сахарной свеклы : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механiзацiя сeльсцогохазiйствeнного виробництва” / А.К. Сарапулов. – Киев, 1965. – 17 с.

78. Рогатинський Р.М. Механiко-технологiчні основи взаємодiї шнекових робочих органiв з продуктами сiльсцогохазiйствeнного виробництва: дис... доктора техн. наук: 05.20.01/05.05.05 / Рогатинський Роман Михайлович. – К. : НАУ, 1997. – 425 с.

79. Рогатинський Р.М. Силова взаємодiя коренебульбоплодiв iз робочими органами шнекових очисникiв / Р.М. Рогатинський // Вiсник Нацiонального аграрного унiверситету. – К. : НАУ, 1997. – Т. 1. – С. 98–103.

80. Рогатинський Р.М. Моделювання процесiв взаємодiї шнекових робочих органiв iз коренебульбоплодами / Р.М. Рогатинський // Вiсник Нацiонального аграрного унiверситету. – К. : НАУ, 1997. – Т. 1. – С. 103–108.

81. Булгаков В.М. Усовершенствованная корнеуборочная машина КУМ-3 / В.М. Булгаков, А.П. Гурченко, В.Н. Барановский // Тракторы и сельхозмашины. – М. : "Колос", 1992. – № 3. – С. 32–34.
82. Хелемендик М.М. Підвищення механіко-технологічної ефективності трудомістких процесів у буряківництві: дис... доктора техн. наук : 05.20.01 / Хелемендик Микола Михайлович. – Луцьк, 1996. – 233 с.
83. Brinkmann W. Fakten und Gedankenumb die Zuckerrubenernte / W. Brinkmann // Zuckerruby. – 1992. – № 41. – S. 310–314.
84. Van Kempen Ph. La recolte de terre / Ph. Van Kempen // La Pomme de Terre Francaise. – 1986. – S. 193–197.
85. Karwowski T. Kompleksowa mechanizacja ziomniakow / Karwowski T. – Warszawa: PWRiL, 1980. – 228 str.
86. Fechler P. Hinweise und Erfahrungen zur Senkung der Ernte-verluste beim Kopfen von Zuckerruben mit dem Kopflader / P. Fechler // Landtechnik Iformation. – 1977. – Vol. 16, № 10. – P. 170–172.
87. Thompson F. Sugar Beet harvesting machine / F. Thompson // British Sugar Beet Reviow. – 1987. –Vol. 55, № 4. – P. 59.
88. Татьянако Н.В. К расчету очистителя сахарной свеклы комкодробящего типа / Н.В. Татьянако // Тракторы и сельхозмашины. М. : "Колос", 1968. – № 10. – С. 23–26.
89. Гевко Р.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: дис... доктора техн. наук: 05.05.11 / Гевко Роман Богданович. – К. : НАУ, 2000. – 362с.
90. Булгаков В.М. Бурякозбиральна техніка: стан і перспективи її створення / В.М. Булгаков // Техніка АПК. – 1995. – № 3. – С. 5–6.
91. Булгаков В.М., Жуковський О.В. Результати експериментальних досліджень вдосконаленого очисника коренеплодів цукрового буряку / В.М. Булгаков, Жуковський О.В. // Механізація сільськогосподарського виробництва. – К. : НАУ, 2002. –Т. XII. – С. 291–296.
92. Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин / Хелемендик М.М. – К. : Аграрна наука, 2001. – 208 с.
93. Шабельник Б.П. Теорія і практика обґрунтування параметрів робочих

органів бурякозбиральних машин / Шабельник Б.П. – Харків, 2001. – 314 с.

94. Шабельник Б.П. Разработка технологического процесса очистки корнеплодов и создание конвейеров-очистителей свеклоуборочных машин : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Б.П. Шабельник. – Ростов-на-Дону, 1986. – 41 с.

95. Результаты испытаний свеклоуборочной машины с экспериментальным очистителем сахарной свеклы от почвы / Б.П. Шабельник, И.Г. Бойко, А.П. Скорик [и др.] // Сб. науч. тр. МИИСП. – М. : МИИСП, 1978. – Т. 15. – Вып. 2. – с. 57–59.

96. Сарапулов А.К. Исследование процесса очистки корней от земли при уборке сахарной свеклы : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / А.К. Сарапулов. – К., 1965. – 17 с.

97. Дослідження продуктивності транспортерно-гвинтового доочисника / В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк, М.Р. Паньків [та ін.] // Науковий вісник НАУ. – К. : НАУ, 2005. – Вип. 2, ч. 2. – С. 407–416.

98. Барановський В.М. Енергетична оцінка очисної системи машин вороху коренеплодів / В.М. Барановський, М.І. Пилипець, М.Р. Паньків // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2006. – Т. 11, № 1. – С. 57–60.

99. Виговський А.Ю. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів комбінованого очисника вороху кормових буряків : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / А. Ю. Виговський. – Вінниця, 2006. – 20 с.

100. Влас Н.Є. Обґрунтування параметрів гвинтового циліндричного сепаратора з радіально зміщеними геометричними осями шнеків: дис... кандидата техн. наук : 05.05.11 / Влас Наталія Євгенівна. – Тернопіль, 2004. – 182 с.

101. Паньків М.Р. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гвинтово-еліпсного очисника коренезбиральних машин: дис... кандидата техн. наук : 05.05.11 / Паньків Марія Романівна. – Тернопіль, 2003. – 160 с.

102. Механізми з гвинтовими пристроями / [Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін.], – Львів : Світ, 1992. – 380 с.

103. Пат. № 39356А, Україна, МПК А 01D 33/08. Очисний пристрій коренезбиральної машини / Пилипець М.І., Паньків М.Р. – Опубл. 15.06.01. – Бюл. № 5. – 4 с.

104. Пат. № 59860А Україна, МПК А 01D 33/08. Очисний пристрій коренезбиральної машини / Паньків М.Р.; заявник і власник Тернопільський держав. техніч. університет ім. І. Пулюя. – № 20021210609 ; заявл. 26.12.02 ; опубл. 15.09.03. Бюл. № 9.

105. Гандзюк М.О. Результати досліджень доочисного пристрою коренезбиральної машини / М.О. Гандзюк, Р.Б. Гевко // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2001. – Вип. 8.– С. 54–60.

106. Гурченко О.П. Напрямки підвищення ефективності очисних робочих органів коренезбиральних машин / О.П. Гурченко, В.М. Барановський // Проблеми та перспективи створення бурякозбиральної техніки : міжн. наук.-техн. конф., 3-5 травня 1996 р. : тези доп. – Вінниця, 1996. – С. 33–34.

107. Жистин Е.А. Обоснование параметров шнеко-елеваторного сепарирующего рабочего органа картофелеуборочных машин: дисс...кандидата техн. наук : 05.20.01 / Жистин Євгеній Анатолієвич. – М., 1986. – С. 43, 139–160.

108. Патент № 7799 Україна. МПК А 01D 33/08. Пристрій для відокремлення домішок від коренеплодів / Паньків М.Р., Барановський В.М., Постол О.М.; заявник і власник Тернопільський державн. техніч. університет ім. І. Пулюя. – № 20041109214 ; заявл. 10.11.04 ; опубл. 15.07.05. Бюл. № 7.

109. Барановський В.М. Конструктивно-технологічні принципи адаптації транспортно-очисного комбінованого робочого органа коренезбиральних машин / В.М. Барановський // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ, 2005. – Вип. 13. – С. 18–24.

110. Результати випробувань модернізованої коренезбиральної машини КС-6Б / М.О. Гандзюк, В.М. Осуховський, І.Г. Ткаченко [та ін.] // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ, 2000. – Вип. 7. – С. 25–30.

111. Протокол 32-46-90 (1140710) государственных приёмочных испытаний опытного образца машины для уборки кормовой свеклы МКК-6А. – Курск, 1990. – 54 с.

112. Brinkmann W. Fakten und Gedankenumb die Zuckerrubenernte / W. Brinkmann // Zuckeruby. – № 41. – 1992. – S. 310–314.

113. Van Kempen Ph. La recolte de terre / Ph. Van Kempen // La Pomme de Terre Francaise. – 1986. – S. 193– 197.

114. Патент № 8017 Україна. МПК А 01D 33/08. Пристрій для відокремлення домішок від коренеплодів / Паньків М.Р., Барановський В.М., Виговський А.Ю.; заявник і власник Тернопільський державн. техніч. університет ім. І. Пулюя. – № 20041210972 ; заявл. 30.12.04 ; опубл. 15.07.05. Бюл. № 7.

115. Патент № 14391 Україна. МПК А 01D 33/08. Очисник вороху коренеплодів / Барановський В.М., Паньків М.Р., Виговський А.Ю.; заявник і власник Тернопільський державн. техніч. університет ім. І. Пулюя. – № u200510816 ; заявл. 15.11.05 ; опубл. 15.05.06. Бюл. № 5.

116. Пат. № 28465 Україна. МПК А01D/33.08. Очисна система вороху коренеплодів / Паньків М.Р., Барановський В.М., Дубчак Н.А., Олійник О.Ф.; заявник і власник Тернопільський державн. техніч. університет ім. І. Пулюя. – № u 200708888 ; заявл. 01.08.2007 ; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 20.

117. Дубчак Н. Результати порівняльних досліджень коренезбиральних машин / Наталія Дубчак, Віктор Барановський // Перша науково-технічна конференція факультету переробних і харчових виробництв : наук.-техн. конф., 19 травня 2011 р. : тези доп. – Тернопіль, 2011. – С. 34.

118. Паньків М.Р. Очисна система вороху коренеплодів / М.Р. Паньків, Н.А. Дубчак, В.М. Барановський, // Вісник ХНТУСГ. “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – 2007.– Т. 1. – Вип. 59. – С. 33-36.

119. Погорілий Л.В., Волянський М.С., Фомічов А.М. Агробіологічні і фізико-механічні властивості кормових буряків як основа для розробки механізованого процесу збирання / Л.В. Погорілий, М.С. Волянський, А.М. Фомічов // Вісник сільськогосподарської науки. – К., 1986. – № 1. – С. 64–69.

120. Барановський В. Аналіз технологічного процесу видалення залишків гички комбінованим викопуючим робочим органом / Віктор Барановський, Микола Підгурський, Галина Герасимчук // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2010. – Т. 15, № 4. – С. 55–62.

121. Прогнозування кількості ґрунту на поверхні тіла коренеплоду / В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк, С.В. Кропивко [та ін.] // MOTRO’L 03. –

Люблін-Київ : НАУ, 2003. – Т.6. – С. 164–172 (IV Міжн. наук.-техн. конф.).

122. Барановський В.М. Аналітичні дослідження маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів / В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк, А.Ю. Виговський // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, ВДАУ. – 2004. – № 3. – С. 9–12.

123. Барановський В.М. Розрахунок масових характеристик коренеплодів / В.М. Барановський, М.Р. Паньків // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ, 2007. – Вип. 15. – С. 30–43.

124. Математичні моделі маси налиплого ґрунту на коренеплодах кормових буряків / Н.А. Дубчак, В.М. Барановський, В.Б. Онищенко [та ін.] // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – 2008. – № 12(2). – С. 314–326.

125. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М. : Наука, 1981. – 706 с. – (Главная редакция физико-математической литературы).

126. Барановський В.М. Визначення коефіцієнта динамічної взаємодії коренеплодів / В.М. Барановський, Н.А. Дубчак, М.Р. Паньків // Сільськогосподарські машини. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2007. – Вип. 15. – С. 14–22.

127. Дубчак Н. Аналіз процесу взаємодії коренеплоду з витком шнека / Наталія Дубчак, Віктор Барановський, Володимир Онищенко [та ін.] // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2011. – Т. 16, № 2. – С. 51–59.

128. Програма і методика проведення випробувань машин для збирання кормових буряків : [Мет. рекомендації] / ІМЕСГ, УкрЦВТ, КВП ДКЗ. – Глеваха, 1987. – 35 с.

129. КД 46.16.01.005 – 93 “Випробування сільськогосподарської техніки. Основні положення”. К.: – 34 с.

130. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики : [учебник, том II. : Динамика, 3-е изд., исправл.] / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – М. : Наука, 1985. – 496 с.

131. Булгаков В.М. Теория свеклоуборочных машин : Монография / В.М. Булгаков, М.И. Черновол, Н.А. Свирень. – Кировоград : ”КОД”, 2009. – 256 с.

132. Добронравов В.В. Курс теоретической механики : [учебник для

вузов, 3-е изд., перераб.] / В.В. Добронравов, Н.Н. Никитин, А.Л. Дворников. – М. : Высшая школа, 1974. – 528 с.

133. Яблонский А.А. Курс теоретической механики : [учебник для вузов, часть 2, 4-е изд.] / Яблонский А.А.. – М. : Высшая школа, 1971. – 347 с.

134. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры / Григорьев А.М. – М. : Колос, 1972. – 286 с.

135. Барановський В.М. Результати дослідження імпульсу сили удару та кута відбивання коренеплодів / В.М. Барановський, В.О. Соломка, В.Б. Онищенко [та ін.] // Вісник ХНТУСГ. “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – 2005. – Вип. 39. – С. 299–307.

136. Вайсон А.А. Подъемно-транспортные машины / Вайсон А.А.. М. : Высшая школа. – 1975г. – 257 с.

137. Барановський В.М. Визначення кутової швидкості обертання гвинта очисника коренеплодів / В.М. Барановський, М.Р. Паньків, Н.А. Дубчак [та ін.] // Науковий вісник НАУ. – 2006 – Вип. 95, частина 1. – С. 278–283.

138. Дубчак Н.А. Пошкодження коренеплодів кормових буряків на маятниковому копрі / Н.А. Дубчак, В.М. Барановський // Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні : міжн. наук.-техн. конф., 16 травня 2011 р. : тези доп. – Тернопіль, 2011. – С. 32-33.

139. Дубчак Н. Експериментальні дослідження співудару коренеплодів із гвинтовим конвеєром / Наталя Дубчак, Віктор Барановський, Володимир Онищенко // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця: ВНАУ, 2010. – № 5. – С. 44–48.

140. ДСТУ 2258-93. Машины бурякозбиральні. – К. : Держстандарт України, 1993. – 18 с.

141. ГОСТ 20915-75. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. – М.: – С. 34.

142. Гурченко О. П., Кобець А. С., Барановський В.М. Конструювання універсальної коренезбиральної машини. / О.П. Гурченко, А.С. Кобець, В.М. Барановський // Вісник ХДТУСГ. Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. –Харків, 2001. –Т. 2, вип. 8. – С. 63–68.

143. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Доспехов Б.А. – М. :

Колос, 1979. – 415 с.

144. Василенко П.М. Основы научных исследований. Механизация сельского хозяйства / П.М. Василенко, Л.В. Погорелый. – К. : Вища школа, 1985. – 266 с.

145. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Марков Е.В., Грановский Ю.В. – М. : Наука, 1976. – 279 с.

146. Крутов В.И. Основы научных исследований / В.И. Крутов, В.В. Попов ; под ред. В.И. Крутова. – М. : Высшая школа, 1989. – 363 с.

147. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Шенк Х. – М. : Мир, 1972. – 374 с.

148. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки данных / Веденяпин Г.В. – М. : Колос, 1973. – 159 с.

149. Бабицкий Л.Ф. Основы научных исследований / Бабицкий Л.Ф., Булгаков В.М., Войтюк Д.Г. – К. : Издательство НАУ, 1999. – 205 с.

150. Барановський В.М. Експериментальні дослідження пошкодження кормових буряків на маятниковому копрі / В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк, А.Ю. Виговський // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ, 2001. – Вип. 8. – С. 5–10.

151. Експериментальні дослідження поправочного коефіцієнта та маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплоду / Наталя Дубчак, Віктор Барановський, Марія Паньків [та ін.] // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2011. – № 6. – С. 64–71.

152. Шабельник Б.П. Агрофізична характеристика кормових буряків / Б.П. Шабельник, В.М. Полупанов, В.М. Мартинов // Вісник сільськогосподарської науки. – 1988. – № 10. – С. 74–75.

153. Особенности развития и формирования кормовой свеклы к моменту уборки / Б.П. Шабельник, В.Н. Полупанов, А.Ф. Завгородний [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К. : Урожай, 1985. – Вып. 62. – С. 8–11.

154. Гурченко О.П. Використання відминаючих вальців для відділення гички кормових буряків / О.П. Гурченко, В.М. Барановський, В.П. Захарченко // Механізація та електрифікація сільського господарства. – К. : Урожай, 1994. –

Вип. 79. – С. 61–63.

155. Гурченко О.П. Відокремлення гички кормових буряків на вальцях / О.П. Гурченко, В.М. Барановський, В.П. Захарченко // *Механізація та електрифікація сільського господарства*”. – 1994. – Вип. 80. – С. 24 – 27.

156. Петрикович Ю.Я. Експериментальне визначення раціональних параметрів завантажувального транспортера та очисної гірки / Ю.Я. Петрикович // *Механізація сільськогосподарського виробництва*. – К. : НАУ, 1999. – Т. VI. – с. 280–286.

157. Дубчак Н. Результати експериментальних досліджень очисної системи вороху коренеплодів / Наталя Дубчак, Марія Паньків, Віктор Барановський // *Вісник ТДТУ*. – Тернопіль, 2008. – Т. 13, № 1. – С. 93 – 99

158. Пат. № 34881 Україна. МПК А01D/33.08. Комбінований очисник вороху коренеплодів / Паньків М.Р., Дубчак Н.А., Барановський В.М., Рамш В.Ю.; заявник і власник Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя. – № у 2008 03995 ; заявл. 31.03.2008 ; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.

159. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки : [навч.-метод. посібник для студентів економічних спеціальностей] / [М.Г. Данильченко, Б.Б. Гладич, Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко. – Тернопіль : Економічна думка, 2001. – 267 с.

160. Техніко-економічне обґрунтування застосування машин, обладнання і технологій / [Гевко Р.Б., Гладич Б.Б., Павх І.І., Кириленко Т.П.] – Тернопіль:, 2003. – С. 138-144.

161. Гевко Р.Б. Система машин і механізмів АПК / Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. – Тернопіль, 2002. – 264 с.

162. Довідник з механізації виробництва цукрових буряків / [Проценко О.О., Паламарчук В.І., Козачук А.М. та ін.] ; за ред. О.О. Проценка. – [2-е вид., перероб. і доп.] – К. : Урожай, 1987. – 264 с.

163. Сельскохозяйственные машины и основы эксплуатации машинно-тракторного парка / [Четыркин Б.Н., Воцкий З.И., Поликутин Н.Г. и др.] – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Агропромиздат, 2001. – 336 с.

164. Гаркавий А. Оцінка техніки і технологій на конкурентоспроможність / Анатолій Гаркавий, Тарас Івашків, Роман Гевко // *Вісник Тернопільської академії народного господарства*. – 2002. – № 6. – С. 23– 30.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН І ОЧИСНИКІВ ВОРОХУ КОРЕНЕПЛОДІВ.....	5
1.1. Аналіз розвитку конструктивно-компонувальних схем ТТС КМ	5
1.2. Аналіз конструктивно-технологічних схем очисних робочих органів КМ.....	21
1.3. Аналіз результатів проведених досліджень і обґрунтування вибору робочого органу.....	29
1.4. Висновки та завдання досліджень	43
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ.....	45
2.1. Уточнення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків та поправочного коефіцієнта.....	45
2.2. Визначення коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду з витком шнека.....	58
2.4. Попередні висновки до розділу	74
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	75
3.1. Програма, об'єкт і предмет експериментальних досліджень	75
3.2. Методика визначення поправочного коефіцієнта та уточнення маси налиплого ґрунту на коренеплодах.....	83
3.3. Методика проведення лабораторних експериментальних досліджень пошкодження кормових буряків.....	92
3.4. Методика проведення порівняльних досліджень комбінованої очисної системи.....	96
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	99
4.1. Обґрунтування поправочного коефіцієнта та уточнення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків.....	99
4.2. Результати експериментальних досліджень пошкодження кормових буряків.....	111
4.3. Польові порівняльні випробування модернізованої коренезбиральної машини	121
4.4. Перспективні напрямки вдосконалення очисних робочих органів коренезбиральних машин	127
4.5. Попередні висновки до розділу	130
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	133
ДОДАТКИ	135
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	160

Наукове видання

**В.М. Барановський, Н.А. Дубчак, В.В. Теслюк,
М.Р. Паньків, В.Б. Онищенко**

**Основи розробки комбінованих очисних систем
коренезбиральних машин**

МОНОГРАФІЯ

Комп'ютерне верстання *А.П. Катрич*

Формат 60x90/16. Обл. вид. арк. 13,28. Тираж 300 пр. Зам. № 2490.

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя.
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11.