

**В.М. БАРАНОВСЬКИЙ, М.І. ПІДГУРСЬКИЙ, М.Р. ПАНЬКІВ,
В.В. ТЕСЛЮК, В.В. ОНИЩЕНКО**

**ОСНОВИ РОЗРОБКИ АДАПТОВАНИХ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ
КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН**

МОНОГРАФІЯ

ТЕРНОПІЛЬ – 2014

УДК 631.358.4
ББК 40.728
О-75

Рецензенти:

Р. Б. Гевко, заслужений винахідник України, доктор технічних наук, професор, декан факультету аграрної економіки і менеджменту, завідувач кафедри інженерного менеджменту Тернопільського національного економічного університету

Г. А. Голуб, доктор технічних наук, професор, директор Науково-дослідного інституту техніки і технологій Національного університету біоресурсів і природокористування України

Затверджено Вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.
Протокол №1 від 18.02.2014 р.

Затверджено Вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України.
Протокол № 9 від 28.05.2014р.

О-75 **Основи** розробки адаптованих транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин : монографія / [В.М.Барановський, М.І.Підгурський, М.Р.Паньків та інші]. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя , 2014. – 351 с.

ISBN 978-966-305-061-4

Монографія присвячена механіко-технологічним основам розробки адаптованих 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 631.358.4
ББК 40.728

ISBN 978-966-305-061-4

© Барановський В. М., Підгурський М. І.,
Паньків М. Р., Теслюк В. В., Онищенко В. Б., 2014
© Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014

ВСТУП

Перспективний розвиток сільськогосподарського машинобудування, який повинен базуватися на принципово нових підходах до розробки та впровадження високоефективних ресурсозберігаючих технологій збирання сільськогосподарських культур, є однією з передумов подолання кризової ситуації аграрного сектору України.

У технологічному процесі виробництва коренеплодів, а саме цукрових, кормових, столових буряків і моркви, які є цінними сировинними, кормовими та харчовими культурами, однією з найбільш трудомістких операцій є механізоване збирання, на яке припадає близько 25...40 % усіх затрат праці.

Стратегія розробки вітчизняних коренезбиральних машин (КМ), призначених для однофазної технології збирання коренеплодів, співпадає із загальною державною тенденцією розвитку складної сільськогосподарської техніки в напрямку інтенсифікації технологічних процесів.

Існуючі КМ, незважаючи на те, що вони обладнані складними багатовузловими транспортно-технологічними системами (ТТС) робочих органів для викопування та очищення вороху коренеплодів (ВК), переважно однотипні, тобто призначені для збирання суто одного з названих коренеплодів, і тому використовуються в короткі календарні періоди, що знижує техніко-експлуатаційні та економічні показники виробництва продукції.

Тому в умовах господарювання багатогалузевих фермерських аграрних підприємств, які вирощують коренеплоди, актуальною техніко-економічною проблемою є окупність реалізації технічно складних і занадто дорогих (від 250 до 650 тис. грн за одиницю) коренезбиральних машин у зв'язку зі специфікою виконання робіт – обмеженими кліматичними термінами їх застосування протягом року (близько одного календарного місяця) та на незначних площах.

Крім того викопувальні робочі органи подають із викопаними коренеплодами на наступні очисні робочі системи КМ значну масову кількість ґрунтових домішок (у середньому до 10...15 т з 1 га). Як наслідок – після очищення

багатоступеневими системами очищення викопаного ВК від домішок з полів вивозиться кількість родючого ґрунту, яка еквівалентна 10...15 см орного шару на площі збирання рівній 100 га, незважаючи при цьому на те, що загальна технологічна довжина очисних поверхонь сягає 8...10 (м) і більше.

Проблема підвищення технічного рівня коренезбиральних машин, основними критеріями оцінки яких є співвідношення показників якості викопування та відокремлення домішок від коренеплодів, залишається особливо актуальною в плані подальшого розвитку коренезбиральної техніки, розвиток і виробництво якої в Україні за останні роки практично припинили. Сучасні напрямки розвитку КМ передбачають розробку та впровадження в аграрне виробництво енергозберігаючих збиральних машин, які є адаптованими до одночасного збирання коренеплодів різних культур однією адаптованою коренезбиральною машиною (АКМ).

Тому постала необхідність наукового обґрунтування розробки АКМ, що дасть змогу значно розширити їх строки, діапазон і способи застосування протягом року шляхом забезпечення одночасного збирання коренеплодів цукрових, кормових, столових буряків і деяких сортів моркви (подібних сорту «Шантане») однією АКМ при стабільних агротехнічних показниках якості роботи, що приведе до значного підвищення ефективності виробництва продукції в цілому.

Розробка АКМ є новим науковим і практичним напрямком подальшого вдосконалення ресурсозберігаючих технологій виробництва коренеплодів. Даний напрямок є актуальним у фундаментальному (створення теоретичних основ оптимізації параметрів робочих органів АКМ) та практичному (впровадження АКМ) аспектах.

Зазначені науково-технічні проблеми знаходять своє ефективне аналітично-емпіричне та конструктивно-технологічне вирішення в отриманих результатах, що є важливим кроком до подальшого розвитку аграрної науки, як у теоретичному, так і в експериментальному плані.

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

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

1.1. Аналіз конструктивно-технологічних аспектів функціонування коренезбиральних машин

Головним критерієм подальшої інтенсифікації сучасного розвитку агропромислового виробництва є матеріально-технічна база механізації всіх виробничих процесів на основі забезпечення розробки та впровадження сучасних високо-ефективних ресурсозберігаючих технологій збирання продукції сільсько-подарських культур [1-6].

Основною ознакою, яка характеризує ресурсозберігаючу технологію, є раціональне заощадження матеріальних і енергетичних ресурсів, їх значне зменшення у загальному контексті технологічних операцій збирання коренеплодів цукрових (ЦБ), кормових (КБ), столових (СБ) буряків і моркви (М) [1, 7].

Сучасний стан спеціальних засобів механізації збирання коренеплодів у світі, у тому числі і в Україні, у деякій мірі задовільний для реалізації технологічного процесу збирання у задані агротехнічні строки. На даному етапі істотно змінилися механіко-технологічні принципи та конструктивно-технічні рішення, які використовуються при конструюванні коренезбиральних машин (КМ) на різних стадіях їх проектування, виготовлення, випробування та впровадження у виробництво. Завдяки цьому значно підвищилася якість виконання технологічного процесу, збільшилась продуктивність праці на збиранні коренеплодів [7, 8, 9].

Дослідження послідовності історичного розвитку конструктивно-технологічних схем КМ, світового досвіду поетапного удосконалення технологічного процесу збирання коренеплодів, компоновання і функціонування основних робочих органів КМ є основою для подальшого формування наукового світогляду розробників сільськогосподарської техніки в плані подальшої розробки загальної концепції раціональних обрисів КМ. Це досягається шляхом аналітичного огляду та аналізу етапів еволюції удосконалення її конструктивно-компоновальних схем.

Технічний прогрес початку третього тисячоліття зумовив подальший розвиток сільськогосподарського машинобудування – у серійне виробництво впроваджуються нові високоефективні коренезбиральні комплекси, побудовані на основі оригінальних технологічно-компонувальних схем та конструктивних рішень робочих органів [10-12].

Радикальні принципи еволюції технічних засобів, призначених для збирання коренеплодів, тісно пов'язані з основними загальними аспектами розвитку технологій та способів їх збирання, а також еволюцією окремих технологічних операцій, особливо таких як збирання гички та доочищення її залишків на головках коренеплодів, викопування коренеплодів, сепарації викопаного вороху коренеплодів (ВК) та завантаження очищених коренеплодів.

У загальному контексті конструктивно-технологічних тенденцій розвитку КМ – від об'єднання кінних знарядь в один збиральний агрегат, тобто відносного зразка КМ (1920 р.), до надпотужних однофазних блочно-модульних самохідних бункерних комбайнів (СБК) з місткістю бункера 40 м³ можна виділити п'ять основних періодів: ранній період розвитку знарядь збирання (1850-1910 рр.); період створення причіпних одно-трирядних коренезбиральних комплексів (1911-1945 рр.); період розробки і впровадження у виробництво шестирядних самохідних машин (1946-1980 рр.); період самохідних бункерних збиральних комбайнів із центральною повздовжньою подачею викопаного вороху (1981-2000 рр.) [6]; сучасний період однофазних самохідних надпотужних бункерних збиральних комбайнів із боковою повздовжньою подачею викопаного вороху (2000 р.-) [1, 13].

В основу розробки конструктивних схем КМ кожного історичного етапу завжди були покладені головні загальні принципи та тенденції розвитку домінуючої технології та способу збирання коренеплодів [1, 13-15]. Перші механізовані способи збирання коренеплодів, які поєднували в собі викопування, завантаження й транспортування технологічної маси цукрових буряків і у яких в деякій мірі усувалася ручна праця на цих основних технологічних фазах (операціях) збирання коренеплодів, розпочалися в другій половині XIX століття [1]. За

відносно короткий термін, приблизно 150 років, розвиток і становлення техніки та механізованої технології збирання коренеплодів пройшло шлях від важкої ручної праці до кінних, тракторних машин і самохідних комбайнів.

Ранній період розвитку перших знарядь характеризується розмежуванням і виділенням вузлових технологічних фаз збирання коренеплодів – обрізування гички, викопування та очищення ВК від домішок. 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.

Спочатку для механізації викопування коренів, що було найбільш трудомісткою операцією, застосовували примітивні кінні знаряддя – сохи, різного профілю лемеші та плуги, які тільки підрихлювали ґрунт навколо коренеплоду для його подальшого ручного витягування за пучок гички (додаток А 1.1). Однорядний німецький плуг-бурякопідіймач Р. Сакка (1853 р.) був першим більш-менш досконалим і працездатним механічним знаряддям: він мав передні опорні колеса. Подальше удосконалення кінних засобів механізації викопування коренеплодів було направлене на створення знарядь, які збільшували рядність машин із одночасною доробкою конструктивних схем – лемішна 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. Пізніше цей копач модернізували рульовим і гвинтовим механізмом регулювання глибини ходу зубових викопувальних робочих органів (ВРО), які з часом назвали вилковими. Поряд із лемішними і вилковими копачами також застосовувалися пасивні плоскі дводискові викопувальні робочі органи (бурякокопач Ф. Френч-Вотъє, К. Томана, 1900 р.) [1].

Основними недоліками перших ранніх кінних знарядь були: дуже велика глибина викопування коренеплодів лемешем-копачем і, як наслідок, необхід-

ність значного тягового зусилля. Проведені випробування більш удосконалених кінних викопувальних знарядь на випробувальній станції (Німеччина, 1909 р.) показали, що вони також не задовольняють основні вимоги збирання – повноту викопування коренеплодів та очищення викопаного ВК від домішок навіть у оптимальних умовах збирання. Вирішення цих складних конструктивно-технологічних проблем відбувалося протягом багатьох наступних десятиліть – оптимальні показники якості збирання коренеплодів були досягнуті лише у 50-60-х роках ХХ ст. [1, 13, 16].

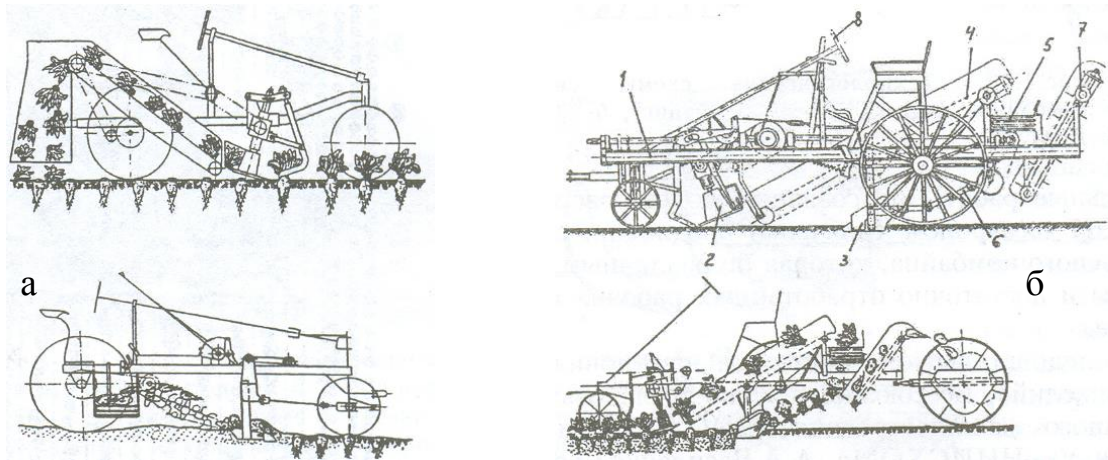


Рис. 1.1. Конструктивно-технологічні схеми КМ: а – дворядного комбайна (схеми комплексів для роздільного збирання); б – комбайна КС-4

Другий період розвитку КМ (додаток А 2.1) характеризується створенням різних працездатних конструкцій гичкозрізувальних і викопувальних машин, а також розробкою перших прототипів однорядних комбайнів: фірма “Червінка” (Чехія) розробила оригінальний прототип майбутнього комбайна, у якому гичкозрізувальний апарат і вилковий копач за допомогою копирів полозкового типу 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 коренеплоди. Модернізований варіант гичкозрізувального робочого органу з дисковим копиром був використаний пізніше (50-60-ті рр.) відомою фірмою “Моро” (Франція).

Розробка причіпних тракторних коренезбиральних комбайнів в Україні почалася в 1926-1928 рр. – перші зразки машин системи проф. А.А. Василенка КС-1, КС-2 [17, 18] були сконструйовані в м. Харкові (Український філіал ВІСГОМ та виготовлені у 1929 р., м. Київ. Перший зразок дворядного українського комбайна (1930 р.), конструктивна схема якого наведена на рис. 1.1а, був аналогом комбайна “Зідерслебен” із дисковими гичкозрізувальними і лемішними ВРО. Комбайн, продуктивністю 0,25 га/год., начіплювався на трактор У-2.

Великі втрати коренеплодів і значні їх пошкодження, відповідно до 7 % і 4 %, та наявність значної кількості домішок у викопаному воросі [19] обумовили пошук та розробку більш досконалих технологічних і технічних рішень.

У подальшому під керівництвом академіка А.А. Василенко (Український філіал ВІСГОМ, м. Харків) було розроблено сімейство удосконалених зразків дворядних комбайнів КС-4 (рис. 1.1б) – від копача-валкоутворювача, який передбачав викопування коренеплодів вилково-лемішними замкнутими копаками з частковою сепарацією вороху та укладанням коренеплодів у валок і подальшим підбиранням його в періодично вивантажувальний бункер, або безпосереднього завантаження вороху у бункер до варіанта коренекопачів брального типу конструкцій інженерів Павлова та Корінькова [1], які передбачали підкопування коренеплодів підймальними лапами з наступним витягува-

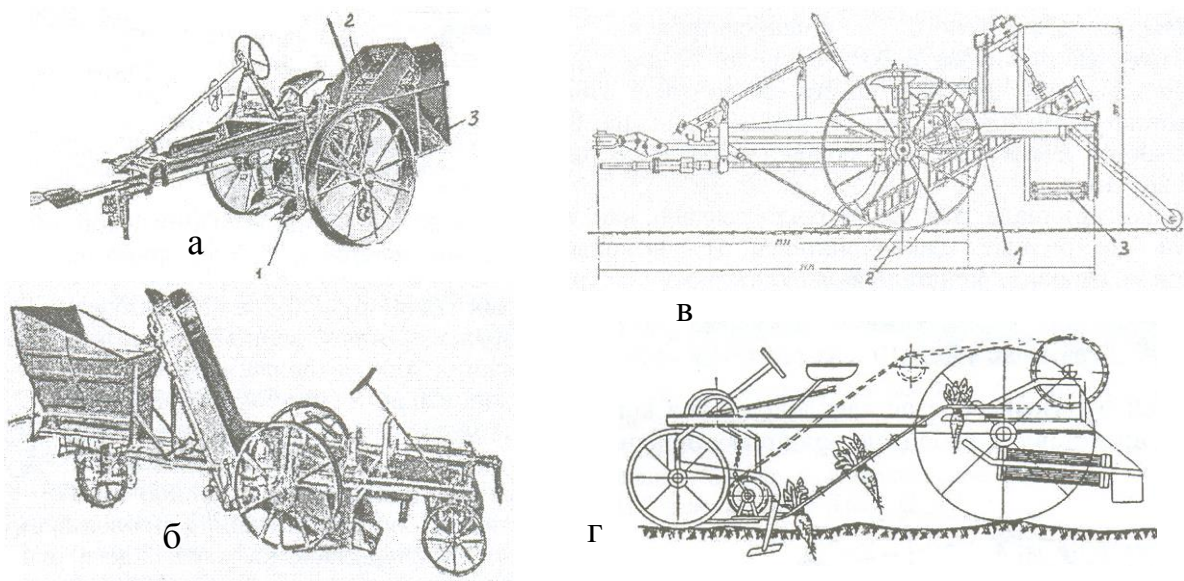


Рис. 1.2. Дворядні коренекопачі: а – копач-валкоутворювач; б – бункерний варіант; в, г – відповідно, брального типу конструкції ВІСГОМ і Корінькова

нням їх за гичку (рис. 1.2), транспортуванням вороху у бункер та укладанням його в кучки для подальшого ручного обрізування гички. За своїм конструктивно-технологічним рівнем ці машини значно випереджали технічні рішення, які домінували у Німеччині, Франції, США. Перший комбайн брального типу був виготовлений тільки у 1944 р. (США) [20].

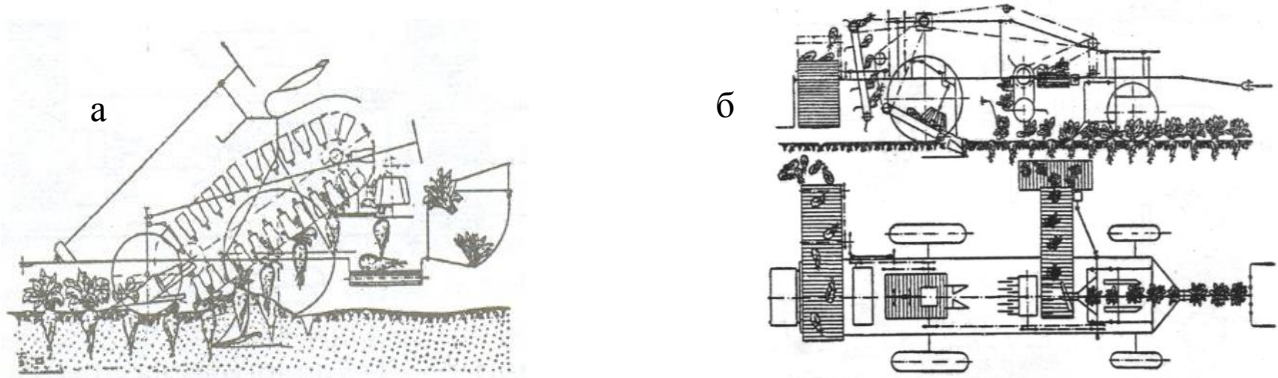


Рис. 1.3. Технологічно-конструктивні схеми комбайнів: а – СКЕМ-3; б – АН-ВНІС

Ця конструкція брального апарату була використана для створення у кінці 1950-х рр. першого у світі трирядного комбайна брального типу СКЕМ-3 (рис. 1.3а), що дало значний поштовх у подальшому розвитку конструктивно-технологічних аспектів збирання коренеплодів. Уперше вирівнювання викопаних коренеплодів перед обрізуванням гички на їх головках відбувалося за допомогою спеціального пристрою на заданій висоті відносно їх головки. Комбайн агрегувався з гусеничним трактором КДП-38 і направлявся по рядках коренеплодів керувальником.

Поряд із академіком А.А. Василенком вирішальний науково-конструкторський внесок у їх розробку і подальше поетапне удосконалення цих унікальних комбайнів вніс видатний вчений-теоретик П. М. Василенко [21], який в Інституті машинознавства АН УРСР вперше обґрунтував конструктивні форми копачів КМ на основі залежностей руху частинок ґрунту по робочому органу, виконаного у формі тригранного клина, які зв'язували параметри копачів і їх опір переміщенню у ґрунті. Ці теоретичні дослідження дали значний поштовх подальшого конструктивного удосконалення ТТС і робочих органів КМ на принципах науково-обґрунтованих аналітичних положеннях і засадах.

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

Модернізований варіант комбайна СКЕМ-3Г, у конструктивну схему якого вперше було введено гідрофікований автомат керування викопувальних робочих органів по рядках і шнековий очисник ВК ОПС-К (комбайн СПТ-3, додаток А 2.1), було почато у 1959 р., що дозволило вивільнити з комбайна керованого та підвищити основні показники якості роботи.

У результаті проведених на полях Саливiнкiвського бурякорадгоспу у 1948 р [1] порiвняльних випробувань комбайнiв СКЕМ-3Г, АН-ВНИС i “Мак-Кормик” (США) було встановлено, що пошкодження коренеплодiв лемiшними копачами (“Мак-Кормик”) складало 26 % (сильнопошкоджених – 14,4 %), вiдповiдно, СКЕМ-3Г тiльки 14,8 i 2,8 %. Iз пiдвищенням твердостi ґрунту та забур’яненостi посiвiв пошкодження коренеплодiв значно зростали, що впевнено пiдтверджувало перспективнiсть бральної технологiї збирання в умовах України та Росiї [3].

Постановка цих машин на серiйне виробництво у 1950-1960 рр. на Днiпропетровському комбайновому заводi (ДКЗ) була суттєвим проривом у свiтовому комбайнобудуваннi та розвитку технологiй збирання коренеплодiв – у європейських краiнах у цей час переважали низькопродуктивнi 1-2-дворяднi комбайни [1, 22-24], якi працювали за принципом попереднього обрiзування гички на коренi з подальшим викопуванням ранiше апробованими робочими органами. Переважала технологiя збирання, яка передбачала утворення поперечних валкiв коренеплодiв за допомогою невеликих бункерiв.

Однак, iдея заміни мобiльних технологiчних транспортних засобiв на вивезенi коренеплодiв та можливiсть скорочення чисельностi необхiдних тракторiв i робiтників на збираннi була також прогресивною у планi перспективної подальшої розробки сучасних надпотужних самохiдних бункерних комбайнiв провiдними фiрмами свiту.

Найбільш активно проводилися дослідження і розробка машин бункерного типу в Німеччині – фірми “Кляйне”, “Штоль”, “Шмотцер”, Англії – фірма “Стендем”, Голандії – фірма “Викон” почали виробництво 1-2-ох рядних бункерних комбайнів фронтального типу (рис. 1.4), які викопували коренеплоди на сусідніх рядках із наступним їх збиранням у бункер, спочатку ємністю 1,5...2,0 а згодом 4...6 т та укладанням у поперечні або повздовжні валки, вивантаженням ВК на краю поля, або перевантаженням у транспортні засоби. Для цього використовували самовивантажувальні бункери з гідромеханізмами, при цьому дно бункера обладнували рухомим транспортером. Відносно невеликі площі посівів (10...60 га) обумовили на той час широке впровадження бункерної технології з використанням 1-2-ох рядних машин.

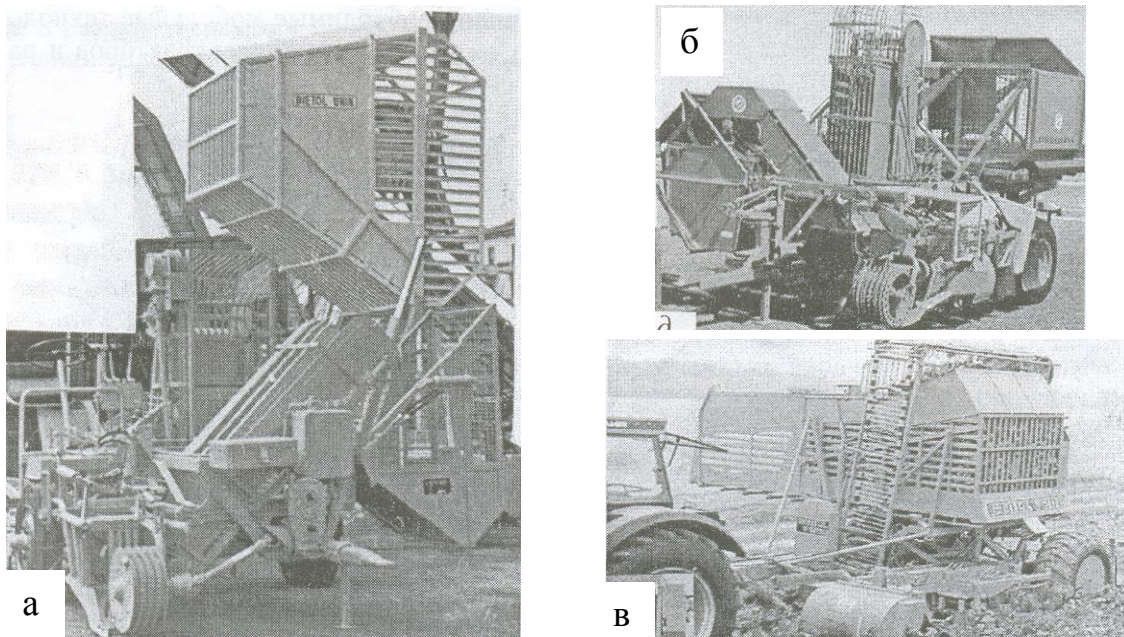


Рис. 1.4. Конструкції 1-2-х рядних КМ:

а – фірма “Стендем”, б – “Викон”, в – “Штоль”

Застосування різних типів пасивних копачів, таких, як вилкових, дискових і лемішних, у деякій мірі вирішувало питання задовільної якості викопування коренеплодів у оптимальних умовах збирання, але на вологих і сухих ґрунтах та в умовах збільшеної кількості бур’янів копачі забивалися ґрунтом і домішками, що призводило до порушень технологічного процесу роботи.

Враховуючі складні погодні умови збирання коренеплодів у СРСР були

продовженні подальші наукові розробки з удосконалення конструктивно-компонувально-технологічних схем комбайна брального типу – на основі розробок Ю.Б. Аванесова, А.С. Кравченка та ін. відбулася особливо швидка динамічна модернізація технічних рішень конструкції комбайна брального типу шляхом запровадження потокової технології збирання [25, 26]. Результатом професійної роботи дослідників та конструкторів у 1969 р. (додаток А 2.1) було розпочато випуск поточкового комбайна КСТ-3, а потім КСТ-3А з більш потужним шнековим очисником вороху та встановленим навантажувальним транспортером для завантаження коренеплодів у транспортний засіб, що рухається поруч (УКС-3).

Ці епохальні технічні рішення складної проблеми збирання коренеплодів впроваджувалися 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 [27, 28] 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, направлених для створення принципово нових КМ, які б працювали за принципом попередньої обрізки гички на корені з наступним викопуванням коренеплодів.

За результатами проведених на Українській машинно-випробувальній станції (УМВС) лабораторно-польових порівняльних випробувань дослідних зразків вітчизняних машин і кращих зарубіжних комбайнів, які працювали за принципом обрізки гички на корені з комбайнами брального типу були уточнені та скоректовані основні положення вимог до розробки збиральних машин нового покоління. Враховуючи набутий попередній досвід макетування комбайнів СК-4, АН-ВНИС науковцями УкрНДІСГОМ і конструкторами державного бюро ДКЗ у короткий термін був розроблений і поставлений на виробництво дворядний причіпний комбайн СКН-2 (рис. 1.5а) до тракторів МТЗ-2 і

КДП-35 з фронтальним розташуванням гичкорізувального апарата і комбінованого викопувального робочого органу, який складався з пасивних лемішних копачів та плоских і сферичних дисків, змонтованих вертикально. На комбайні був встановлений роторний лопатевий доочисник залишків гички на головках коренеплодів, кулачковий транспортер-очисник вороху і бункер [29-31].

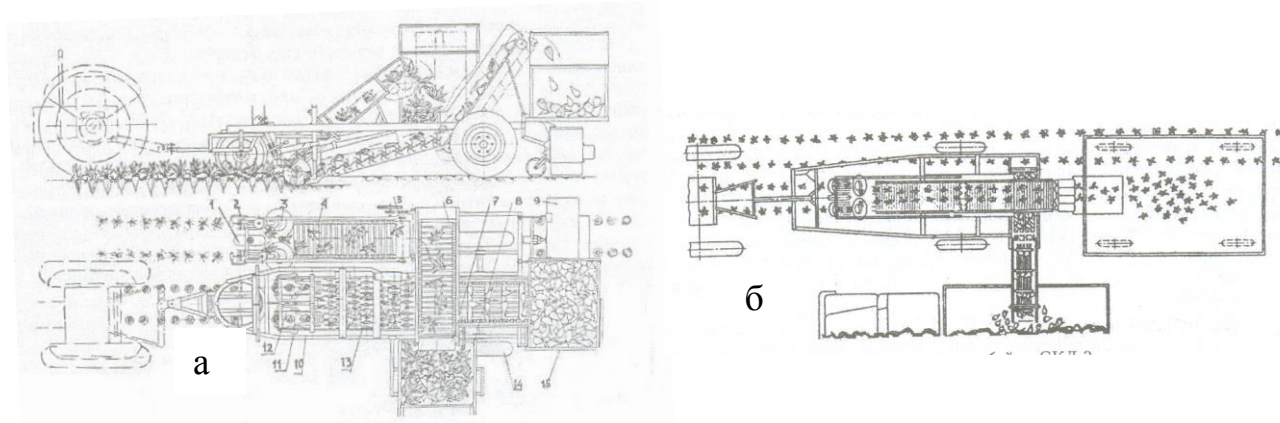


Рис. 1.5. Конструктивні схеми комбайнів: а – СКН-2: 1 – копіювальне колесо; 2 – гребінчастий копір; 3 – ніж; 4, 6 – повздовжній і поперечний транспортер гички; 5, 7 – бітер; 8 – бункер гички; 9 – очисник головок; 10 – лемішні копачі; 11, 12 – вертикальні плоскі та сферичні диски; 13 – очисник вороху; 14 – опорне колесо; 15 – бункер коренеплодів; б – СКД-2

Для реалізації потокової та потоково-перевалочної технології збирання коренеплодів на модернізованій КМ СКН-2А замість бункера було встановлено шнековий очисник вороху, поперечний і вивантажувальний транспортери для завантаження коренеплодів у технологічний транспорт, що забезпечувало достатньо високу продуктивність збирального агрегату в нормальних ґрунтово-кліматичних умовах збирання. Але при вологості 26...30 % значно знижувалася технологічна надійність роботи комбайна та підвищувалася загальна забрудненість коренеплодів ґрунтом (до 30...40 %), що потребувало додаткових ручних затрат праці на доочищення вороху. Крім того, при роботі на сухих і твердих ґрунтах (вологість 8...12 %) значно погіршувалася якість викопування коренеплодів пасивними лемішками із-за обриву хвостової частини коренеплодів, що призводило до надмірних втрат цукрової сировини [13, 29].

Використавши деякий набутий зарубіжний досвід збирання коренеплодів у вологих умовах (Данія) і на тяжких ґрунтах (США) [32], де на комбайнах встановлювали дводискові копачі, спеціалістами й конструкторами ДКЗ (Кравченко О.С., Гурченко О.П., Русанов І.І.) був розроблений та впроваджений дворядний комбайн СКД-2 (рис. 1.5б), а потім трирядний СКД-3, який відрізнявся послідовним розташуванням робочих органів і покращеними характеристиками дискових копачів, що значно знижувало втрати коренеплодів при викопуванні за рахунок стабілізації процесу заглиблення дисків [6, 33].

Застосування технології з безперервним завантаженням гички в причіпну ємність і коренеплодів у технологічний транспорт (КСТ-3А, СКД-2-3) на рубежі 70-их років ХХ ст. у деякій мірі вирішувало проблему комплексної механізації збирання коренеплодів, але у зв'язку з незадовільною продуктивністю збиральних агрегатів (втратами часу для заміни технологічних пристроїв і транспорту) та значним розширенням посівних площ і їх розмірних характеристик (довжина гона 800...1000 м) постало питання підвищення продуктивності роботи збиральних машин за рахунок розмежування технологічних операцій збирання гички та коренеплодів, що дозволяло збільшити рядність, або ширину захвату КМ. Бункерні машини того часу за своїми технологічно-розмірними характеристиками об'ємів бункерів були не у спроможності збирати коренеплоди з усієї довжини одного гону [34-37].

У зв'язку з цим у світовій практиці збирання коренеплодів пріоритетним напрямком був вибраний роздільний 2-3-ох фазний спосіб збирання [38], який поряд із бункерною технологією ще застосовується у даний час. Дворядний комбайн французької фірми “Моро” (рис. 1.6а) був обладнаний пристроєм для укладання зібраних коренеплодів у повздовжні валки із шести рядків, що значно підвищувало продуктивність роботи. Для підбирання валків застосовували підбирач-доочисник-завантажувач, який уперше став важливою ланкою подальшого широкого застосування 2-3-ох фазного валкового способу збирання коренеплодів шестирядними КМ. Цей оригінальний комбайн, побудований за принципом “мотоплуга”, був першим прообразом самохідного комбайна у світі [1, 35].

верхній частині дисків вперше було змонтовано бітер-виштовхувач коренеплодів. Ця удосконалена конструкція викопувального пристрою – комбінація дводисковий копач + бітер-вихтовхувач – широко застосовується на КМ вітчизняного виробництва та США.

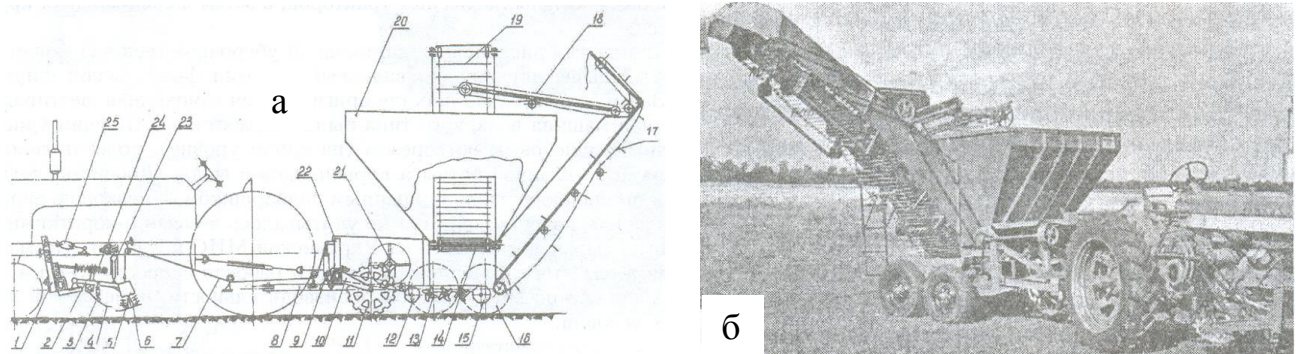


Рис. 1.7. Конструктивна схема (а) і загальний вигляд бункерного комбайна “Фармхенд-350”: 1-6 – начіпний гичкозрізувальний апарат; 11 – дисковий копач; 12-15 – кулачковий очисник; 17-19 – завантажувальний і вивантажувальний транспортери; 20 – бункер; 21 – бітер-виштовхувач

За рахунок підвищення потужності тракторів до 90...120 к.с. шестирядні навісні комплекси (гичкозбиральна машина, коренекопач-валкоутворювач, підбирач-навантажувач) для роздільного 2-3-ох фазного 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].

Характерна особливість даного етапу полягала в тому, що вперше у світовій історії комбайнобудування у конструктивно-технологічній схемі коренекопача-валкоукладача для звуження потоку викопаного ВК й очищення коренеплодів від домішок почали застосовувати двотурбінні (двороторні) очисники, а у підбирачах-навантажувачах для підбирання валка коренеплодів – двоконтурні, нижній і притискний верхній, пруткові транспортери і для доочищення ВК – одностурбінні очисники (рис. 1.8), удосконалені конструкції яких широко

застосовують у найкращих зразках сучасних КМ [1, 11, 35, 37]. Крім того, для розмежування напрямків потоку складових компонентів вороху – домішок і коренеплодів на два взаємно-перпендикулярні потоки у конструктивну схему підбирача-завантажувача фірми “Моро” було вперше 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, 14, 37, 41-44].

Проте відносна залежність черговості виконання багатостадійних технологічних операцій збирання коренеплодів, незадовільна маневреність збиральних комплексів і значна кількість обслуговуючого персоналу, що призводило

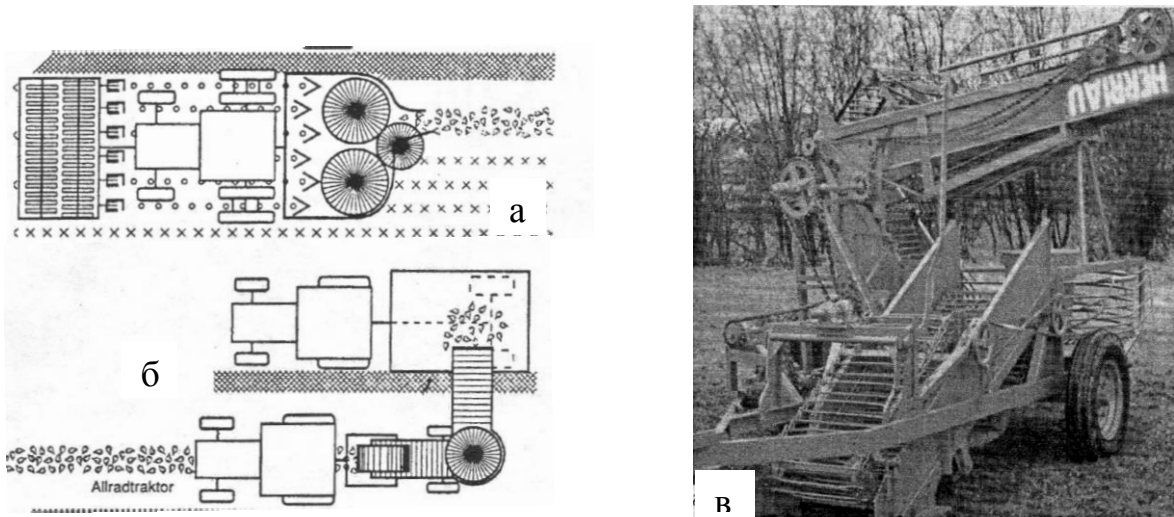


Рис. 1.8. Конструктивно-технологічна схема коренекопача-валкоукладача (а) і підбирача-навантажувача (б) фірми “Моро”; загальний вигляд підбирача-навантажувача (в) фірми “Еріо”



Рис. 1.9. Загальний вигляд збиральних агрегатів: а – гичкозбиральний + копач-валкоутворювач; б – гичкозбиральний + доочисник головок

до подорожчання робочої сили, зумовило пошук більш раціональних способів збирання середніх за обсягами площ посів, тому у кінці 70-х рр. минулого століття 2-3-охфазний спосіб збирання коренеплодів став застосовуватися більш обмежено, переважно на великих фермерських господарствах. 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. 1.9), що в подальшому призвело до розробки самохідних КМ [1, 35, 38, 39, 45, 46].

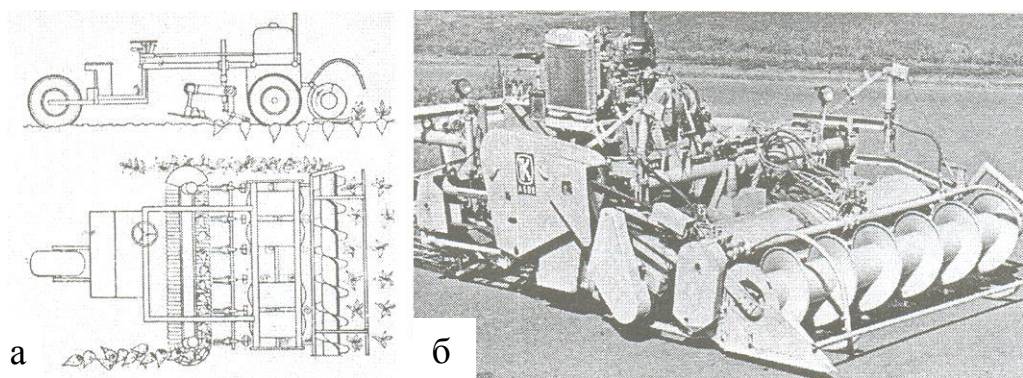


Рис. 1.10. Конструктивно-технологічна схема (а) та загальний вигляд (б) самохідної шестирядної КМ фірми “Боліндв-Мунтнелъ”

За прикладом 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 (рис. 1.10) фірми “Боліндв-Мунтнелъ” (Швеція) за один прохід виконувала основні технологічні операції збирання коренеплодів: зрізування гички шнековим гичкорізом без копіювання головок; викопані ударно-коливними копаками коренеплоди за рахунок поперечного транспортера замкнутого типу укладались у валок, який підбирали причіпним підбирачем-навантажувачем. Активні ударно-коливні лемішні копачі були першою інженерною спробою розробки вібраційних ВРО, які широко застосовуються у сучасних надпотужних СБК провідних фірм світу.

Шестирядна самохідна КМ фірми “Парма” (США) у якості основного енергетичного засобу мала встановлені на її рамі трактор потужністю 115 к.с., дводискові копачі, вальцовий шнековий очисник ВК і перехідний бункер-компенсатор ємністю 5,5 м³, який дозволяв замінювати технологічний транспорт без зупинки робочого процесу (рис. 1.11). 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.

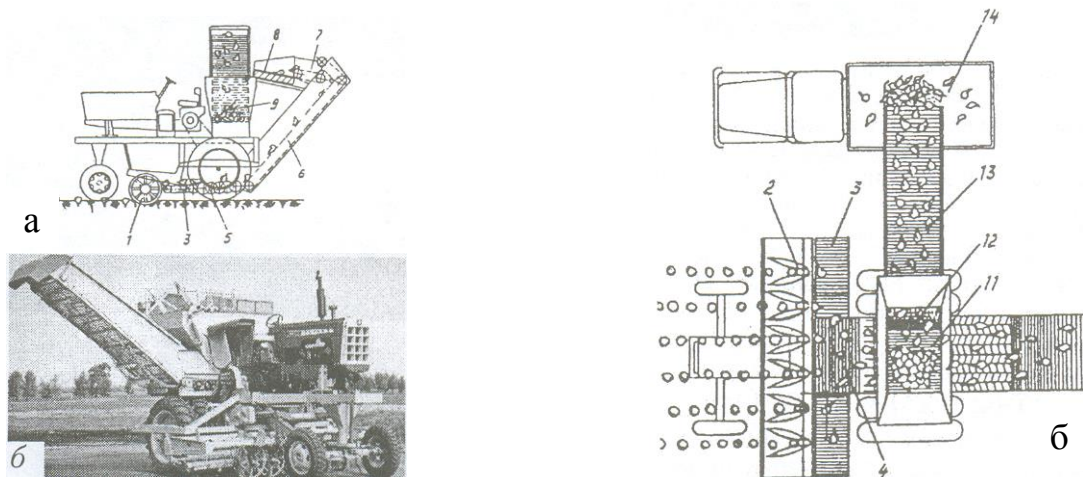


Рис. 1.11. Конструктивно-технологічна схема (а, б) і загальний вигляд самохідної КМ фірми “Парма”: 1 – дисковий копач; 2 – бітер; 3, 4, 6, 7, 11, 13 – поперечний, повздовжній, поперечний бункерний і вивантажувальний транспортери; 5, 8 – кулачковий і шнековий очисники; 9 – бункер

Однак низькі показники якості обрізки гички та очищення вороху обох КМ машин та недостатня потужність двигуна КМ фірми “Боліндв-Мунтнел” (60 к.с.), які були отримані при випробуваннях на Українській МВС, незважаючи на достатньо високу на той час продуктивність КМ фірми “Парма” (16...18 га/год.) [1], потребували нових радикальних шляхів вирішення проблем значного підвищення показників фабричного забруднення коренеплодів у умовах довготривалого перероблення цукрової сировини на заводах України.

Проведені наукові розробки академіка П.М. Василенка, так і наступні дослідження вчених теоретиків і конструкторів М.В. Татьянка, М.І. Кривоногова, В.В. Брея, Ю.Б. Аванесова, О.С. Кравченкв, В.Г. Кузьминова, Г.М. Смакоуза,

М.Г. Данильченка, Е. Квикса (Ваймар-Комбінат, НДР), Інституту радіоелектроніки (НРБ) та ін. дозволили розробити високопродуктивний комплекс самохідних шестирядних машин для роздільного дво- або трифазного способу збирання коренеплодів у ґрунтово-кліматичних умовах Росії та України з використанням самохідних КМ, які значно перевищували в 1970-1980 рр. існуючі світові рівні технологій збирання [21, 26, 47-50]. Виробнича конкуренція СКБ ДКЗ та Тернопільського комбайнового заводу (ТКЗ) дозволила у короткі строки почати серійний випуск самохідних КМ: КС-6 (1973р.) із дводисковими (один приводний) ВРО 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 (рис. 1.12а); РКС-6 (рис. 1.12б) з оригінальним ВРО – конусоподібними активними вилками з коренезабірниками та встановленим на рамі КМ трактором МТЗ-80 із демонтованими колесами.



Рис. 1.12. Загальний вигляд самохідних шестирядних КМ: а – КС-6; б – РКС-6

У подальшому (1980-1990 рр.) були впровадженні модернізовані варіанти (додаток А 3.1) цих машини з різною модифікацією змінних копачів для відмінних ґрунтово-кліматичних умов збирання ЦБ, КБ та у деякій мірі М за рахунок відповідного переобладнання транспортно-технологічних системи (ТТС) КМ [8, 49-53], які знайшли широке використання при потоковій або потоково-перевалочній технології збирання коренеплодів у країнах східної Європи.

Застосування трифазного способу збирання коренеплодів впровадженими

комплексами (збирання гички машиною БМ-6, викопування коренеплодів, підбирання утворених польових буртів коренеплодів за допомогою розробленого завантажувача-очисника СПС-4,2А) дало можливість значно зменшити загальну фабричну забрудненість ВК (сировини) у вологих умовах збирання (вологість ґрунту 23...28 %).

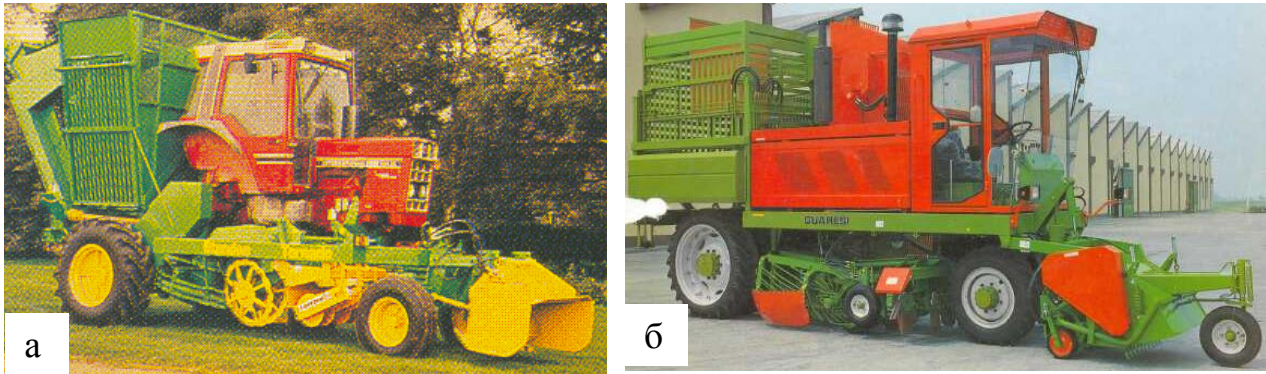


Рис. 1.13. Загальний вигляд дворядних самохідних комбайнів:

а – фірми “Стенден” (Англія); б – фірми “Guarest” (Італія)

У європейських країнах, незважаючи на тенденцію розробки самохідних комбайнів, на відміну від Росії та України, де інтенсивно застосовували самохідні високопродуктивні шестирядні збиральні комплекси (70 % посівних площ буряків), переважали одно- і дворядні комбайни (рис. 1.13) для роздільного збирання коренеплодів (до 82 %), додаток А 4.1. Але наукові напрацювання в області загальних тенденцій розвитку технологій і способів збирання та технологічно-конструктивних схем КМ визначили їх стратегічний напрям, який реалізований у сучасних високопродуктивних збиральних комбайнах.

Поряд із домінуванням одно- і дворядних комбайнів у країнах Західної Європи тривали пошуки більш раціональних конструктивно-компонувальних схем КМ. Трирядний самохідний комбайн фірми “Еріо” (рис. 13.1а) вперше у світі був обладнаний роторним гичкозрізувальним апаратом безкопірного типу, який розташовувався перед передніми колесами і встановленими між мостами шасі комбайна пасивними ножами-дообрізчиками та копачами, що усувало проміжну фазу доочищення залишків гички на головках коренеплодів. Удосконалена конструкція двостадійного гичкозбирального модуля (горизонтальний

роторний безкопінний гичкоріз + пасивний дообрізчик) – основна складова одиниця сучасної зовнішності надпотужних бункерних самохідних КМ [54, 55].

Робочі модулі ТТС чотирирядного самохідного комбайна фірми “Матро” (рис. 1.14б), які виконували за один прохід всі технологічні операції збирання коренеплодів, також начіплювалися на рамне шасі – двостадійний гичкозбиральний модуль спереду керованих коліс, копачі (коливальні лемішні або комбіновані копачі-євродиски) та очисні пристрої – у міжбазовому просторі шасі, а невеликої ємкості бункер-компенсатор із завантажувальним транспортером – позаду. Для покращення процесу сепарації домішок самохідний комбайн фірми “Моро” АТ-62 обладнувався чотири- або п’ятидисковим турбінним очисником, а модифікація АТ-64 мала бункер-компенсатор ємністю 3 м³, час вивантаження при зупинці становив 40 с, на робочому ходу – 80 с, потужність двигуна 165,6 кВт.

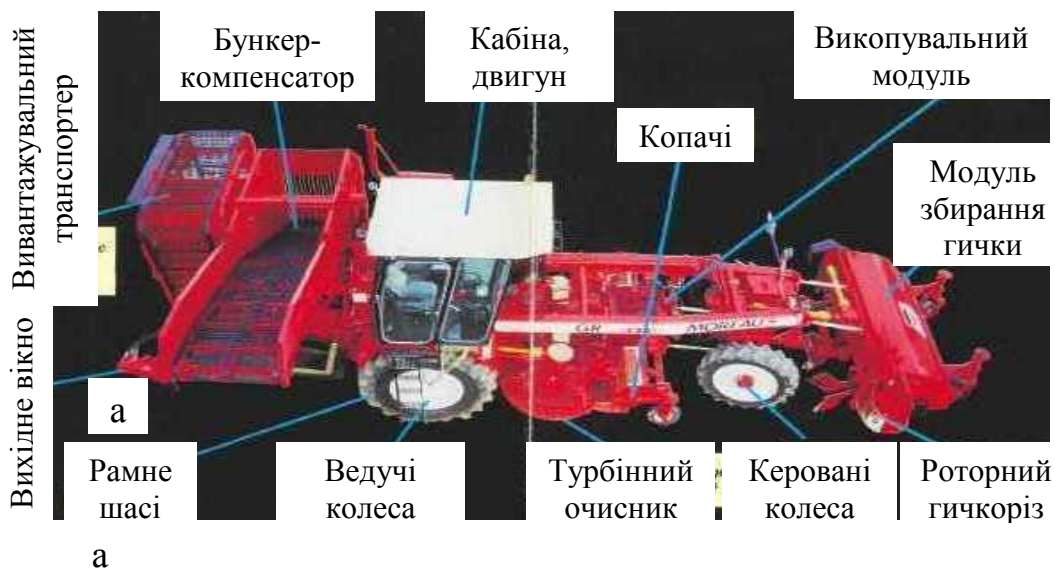


Рис. 1.14. Конструктивно-компонувальна схема (а) та загальний вигляд (б) самохідного комбайна фірми “Моро” АТ-64

Розвиток конструкцій самохідних коренезбиральних машин третього етапу наведено в додатку А 5.1.

Проте роздільне компонування робочих модулів для зрізування гички та викопування коренеплодів, тобто їх відповідне розташування спереду керованих коліс та у міжосовій базі шасі, значно утруднювало викопування наступних чотирьох рядків після проходу комбайна у вологих умовах збирання із-за виникаючої при цьому нерівномірності глибини ходу копачів.

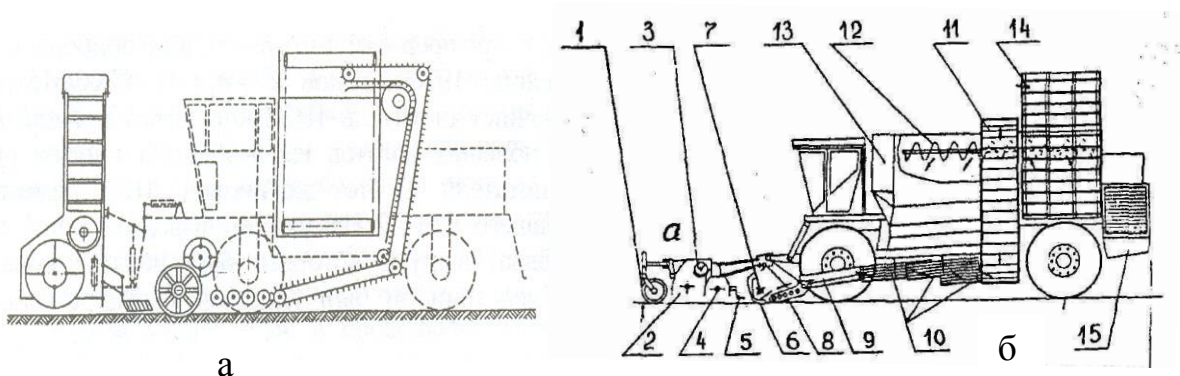


Рис. 1.15. Характерний конструктивно-компонувальний облік СБК:

- а – СБК “Бета Кинг”; б – сучасного СБК: 1- копіююче колесо;
 2 – гичкозрізувальний ротор, 3 – шнек гички; 4 – доочисник залишків гички;
 5 – пасивний копір; 6 – копач; 7 – виштовхуючий бітер; 8-10 – система
 очищення вороху; 11 – завантажувальний транспортер; 12 – шнек-
 розрівнювач; 13 – бункер; 14 – вивантажувальний транспортер; 15 – двигун

Четвертий етап розвитку КМ характерний стрімким переходом до однофазного способу збирання коренеплодів, який поєднував 2-3-фазне збирання коренеплодів СБК із великою ємністю бункера. Конструктивний прорив настав після розробки компактних гичковиделяючих і викопувальних робочих модулів, систем очищення вороху й 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 (рис. 1.15а). Двигун, потуж-

ністю 250 к.с., розташовувався за кабіною, завантаження коренеплодів у бункер місткістю 8 т відбувалося П-подібним зігнутим транспортером із заднього кінця бункера, продуктивність комбайна – до 12 га за зміну [1, 10, 36, 56].

Дана конструктивно-компонувальна зовнішність КМ була однією з перших СБК, що призвело до подальшого розвитку і модернізації в процесі еволюційного розвитку технологічних і конструктивних рішень коренезбиральної техніки (додаток А 6.1). На основі успішних конструкторських розробок попередніх років у європейських країнах до кінця 80-х років минулого століття було створено сучасну типову зовнішність СБК (рис. 1.15б).

Тенденція накопичування коренеплодів у бункер більш характерна при збиранні великорозмірних коренеплодів, тобто ЦБ і КБ. У розвинутих коренесіючих країнах Європи та Америки, де значні посівні площі, особливо ЦБ, впровадження у виробництво самохідних бункерних однофазних комбайнів почалося на початку 90-х років 20-го століття в зв'язку з стрімким підвищенням урожайності та подальшим удосконаленням перевалочної технології збирання коренеплодів [39, 45, 50, 57, 58].

У 1982 р. на базі спільних наукових розробок УкрНДІСГОМ і “Ваймар-Комбінату” (НДР) був виготовлений і апробований макетний дослідний зразок шестирядного СБК (рис. 1.16) з ємністю бункера 20 м³, у якому гичкозрізувальний модуль, подібний гичкозбиральній машині БМ-6, навішувався на трьохосну 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”, “Матро”, “Ропа” з місткістю бункера до 30 м³, 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. 1.17)

провідних фірм світу “Кляйне”, “Роп”, “Холмер” (ФРН), “Франкю”, “Моро”, “Матро” (Франція), “Барігеллі” (Італія), “Тіллес” (Бельгія), “Агріфаг” (Голандія), “Тім” (Данія) є центральне повздовжнє транспортування викопаного ВК між простором колісної бази ходової системи комбайна, що вносило свої відповідні корективи в конструктивно-компонувальні схеми розміщення базових робочих вузлів ТТС на основній рамі машини: “кабіна-активні робочі органи-бункер-двигун”, тобто різноманітністю розташуванням складових викопувальних і очисних систем, завантажувальних і вивантажувальних транспортерів, ємністю бункера та потужністю двигуна, системами приводів гичкозрізувальних апаратів, вібраційних лемішних копачів, систем очищення ВК від домішок тощо.

Загальні тенденції розвитку конструктивно-компонувальних і функціональних схем КМ у світі, починаючи від 50-х років 20-го століття, характеризуються поступовим удосконаленням 2-3-4-х стадійної 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 ВК. Це – застосування однофазного способу збирання коренеплодів, який передбачає виконання одним коренезбиральним агрегатом всіх технологічних операцій залежно від застосованої технології збирання, тобто зрізування гички коренеплодів та доочищення її залишків на їх головках, викопування коренеплодів з наступним очищенням викопаного ВК від домішок, завантаження коренеплодів у транспортні засоби, що рухаються поруч з коренезбиральним агрегатом або в його бункер-накопичувач [15, 27, 32, 38, 40, 46, 51, 59, 60-62].

Розробка самохідної бункерної КМ КБ-6 (рис.1.18а) для 2-х фазного збирання ЦБ в Україні почалася на кінці 20-го століття спеціалістами СКБ ВАТ “Тернопільський комбайновий завод” (ВАТ “ТеКЗ”), подальше удосконалення якої призвело до створення експериментальних дослідних зразків самохідних бункерних КМ КС-6Б-10 «Тернопіль» і призначеної для однофазного збирання коренеплодів ЦБ КБС-6 “Збруч” (рис. 1.18 б), яка [13, 54]. На даний час дані КМ не впроваджені у виробництво.

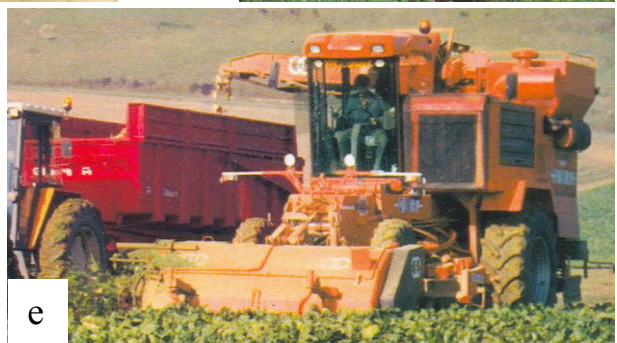


Рис. 1.17. Загальний вигляд шестирядних СБК: а – SF-10 “Кляйне”(ФРН); б – “P.Varigelli & C” (Італія); в – “Moreau” (Франція); г, л – “Holmer” (ФРН); д – “Ropa” (ФРН); е – “Matro” (Франція); ж, к – SR-2500 “Tim” (Данія); з – “Tetra” (Італія)

Характерною ознакою сучасного етапу 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. 1.19а) з боковим транспортуванням викопаного вороху в бункер машини. Таке розташування робочих органів дозволило більш компактно розмістити на рамі машини основні складові елементи КМ – трансмісію, гідросистему, двигун, бункер і кабінку, засоби контролю й 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 енергоходової системи самохідних машин ряд фірм вже пропонують модульну конструкцію



а



б

Рис. 1.18. Загальний вигляд СБК: а – КБ-6; б – “Збруч”



Рис. 1.19. Загальний вигляд СБК SF-20 фірми “Кляйне”

КМ, наприклад, на універсальний енергозасіб “Ксеріон” фірми “Клаас” і енергозасіб УЭС-250 (Республіка Білорусь) націплюють змінні комплекси машин.

Значна енергоемність і маса сучасних КМ у значній мірі визначаються не тільки об’ємом бункера, міцністю несучої і ходової систем, але й складними конструкціями основних ТТС: гичковидаляючих, викопувальних і, особливо, очисних робочих органів, які в ході технологічного процесу переробляють в загальному 150...250 т ґрунтового та рослинного вороху з гектара, що призводить до пошуків подальшого удосконалення робочих органів ТТС КМ провідними машинобудівними фірмами та науково-дослідними установами світу.

Основні напрямки та наукові концепції функціонування складної сільсько-господарської техніки розглянуто в наукових працях учених Адамчука В.В., Василенка П.М., Гукова Я.С., Дубровіна В.О., Козаченка О.В., Кравчука В.І., Морозова І.В., Підгурського М.І., Погорілого Л.В., Рибак Т.І., Хайліса Г. А. та інших [1-7, 63-67].

Засади розробки КМ частково ґрунтуються на методах і принципах, викладених у наукових працях учених Булгакова В.М., Василенка А.А., Войтюка Д.Г., Головача І.В., Козаченка О.В., Погорілого Л.В., Петрова Г.Д., Тат’янка М.В., Хелемендика М.М., Шабельника Б.П., науковців Аванесова Ю.Б., Герасимчика В.Г., Гурченка О.П., Завгороднього А.Ф., Козіброди Я.І., Русанова І.І., Савича П.В., Савченка І.Ф., Смакоуза Г.М. та інших [1-5, 7, 14, 17-19, 26, 68-76].

Аналіз відомих теорій побудови КМ засвідчив певні обмеження їх застосування для оцінки специфіки технологічного процесу збирання різних культур коренеплодів однією АКМ і як наслідок – для розробки основних положень побудови таких АКМ.

У цьому плані характерною нагальною ознакою розвитку сучасних КМ є розробка і дослідження адаптованих викопувальних транспортно-очисних комбінованих робочих органів (АВТОКРО) і адаптованих транспортно-очисних комбінованих робочих органів (АТОКРО), впровадження яких дозволить у деякій мірі вирішити науково-технічну проблему збирання різних культур коренеплодів, тобто коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М однією адаптованою коренезбиральною машиною (АКМ) при задовільних показниках якості її роботи [77, 78].

Таким чином, на основі проведеного аналізу, можна констатувати:

1. Еволюція розвитку КМ і технологій збирання коренеплодів у країнах світу та в Україні в II половині ХХ ст. характеризується швидкими темпами розробки та впровадження різнотипних КМ за одночасним удосконаленням робочих органів ТТС, особливо для видалення гички, викопування й очищення ВК. Найбільшого розповсюдження набули самохідні машини для однофазного та 2-3-х фазного способу збирання коренеплодів, причому за останні 20 років спостерігалось поетапне обладнання КМ бункерами-компенсаторами, спочатку місткістю 1,5...3,5 м³, а далі місткість бункера збільшувалась від 10 до 40 м³.

2. Впроваджені у виробництво в 60-х роках ХХ ст. в Україні комплекси вітчизняних КМ (КС-6, РКС-6) та в деякій мірі модернізовані в 80-х роках за прогресивними на той час конструктивно-компонувальними схемами (КС-6В, МКК-6, РКМ-6) для роздільного 2-3-х фазного способу збирання не поступались зарубіжним аналогам за продуктивністю та показниками якості роботи.

3. Недостатня загальна експлуатаційно-технологічна надійність вітчизняних збиральних комплексів (0,65...0,75), жорсткі зв'язки між окремими послідовними технологічними операціями, необхідність громіздкого шлейфу задіяних енергетичних і технологічних засобів (4...6 тракторів, 4...6 причепів або автомобілів) для обслуговування 2-3-х фазного способу збирання та відповідно значна кількість одночасно задіяних механізаторів, незадовільні показники якості роботи КМ (забрудненість вороху домішками навіть після ручного доочищення складає 12...18%, в т.ч. 2...4% рослинних решток і значна кількість вивезеного з поля разом із коренеплодами родючого шару ґрунту) свідчать про неможливість подальшого розвитку КМ у цьому напрямку.

4. Основною причиною зростаючого в світі попиту на високопродуктивні СБК є технологічні й економічні переваги застосування даного типу КМ на відміну від вітчизняних комплексів у зв'язку з подальшою спеціалізацією господарств і концентрацією переробної промисловості, що дозволяє значно підвищити продуктивність роботи, показники якості збирання коренеплодів, особливо в пізні строки та у зволжених умовах.

5. Наявність різноманітних компоувальних схем КМ і створених конструкцій робочих органів їх ТТС потребує диференційованого підходу при виборі, розрахунку, проектуванні, дослідженні та впровадженні у виробництво нових енергозберігаючих розробок.

Тому класифікований підхід із урахуванням особливостей робочих органів, схем їх компонок і способів функціонування забезпечить можливість подальшого проведення аналізу та синтезу необхідної конструктивно-технологічної схеми та ТТС КМ для конкретних умов експлуатації.

6. Викладений аналіз розвитку КМ провідних фірм світу свідчить про нагальну необхідність подальшого прискорення науково-дослідних розробок у напрямку дослідження ефективних адаптованих викоувальних і очисних ТТС АКМ, як основи для підвищення ефективності роботи КМ у цілому. Шляхами вирішення радикальних напрямків підвищення ефективності використання АКМ необхідно надавати питанням подальшої інтенсифікації технологічних процесів викоування коренеплодів із одночасним видаленням залишків гички на їх головках при мінімізованій кількості поданого на наступні ТТС АКМ вільного та налиплого ґрунту та сепарації викопаного ВК.

1.2. Основні конструктивно-технологічні ознаки транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин

1.2.1. Аналіз конструкцій викоувальних робочих органів

Таким чином, основними конструктивно-технологічними критеріями, які характеризують незадовільну експлуатаційно-технологічну ефективність використання існуючих КМ, особливо в екстремальних умовах збирання, є значна ступінь залежності забрудненості викопаного ВК домішками, продуктивності та енергомісткості збиральних машин від фізичного стану ґрунту і параметрів насаджень рослин, що призводить до неможливості застосування однієї КМ для збирання різних культур коренеплодів [15, 77, 78].

ВРО є одними з головних базових структур ТТС КМ, оскільки від якості їх технологічного процесу роботи залежать, у кінцевому випадку, ефективність застосування конструктивно-компонувальної схеми всієї КМ та показники якості її роботи. Механіко-технологічні принципи роботи ВРО полягає в руйнуванні зв'язків коренеплодів із ґрунтом і створенні витягувального зусилля для наступного переміщення їх по поверхні робочого органу та передачі викопаних коренеплодів на подальші ТТС КМ.

Як правило, ВРО підрізають шар ґрунту разом із коренеплодами лезом клина або своєю робочою поверхнею на глибині підкопування та переміщують викопаний ворох по руслі копача в зону ОРО для подальшого відокремлення ґрунтових і рослинних домішок від коренеплодів, при цьому ВРО повинні забезпечувати достатнє порушення зв'язків коренеплодів із ґрунтом, необхідну повноту їх викопування при задовільних показниках втрат, пошкоджень і мінімізації подачі вільного та налиплого ґрунту на подальші ТТС КМ. Дані критерії визначають технологічну ефективність роботи ВРО, яка, окрім вказаних чинників, регламентується також конструктивно-компонувальними схемами ВРО, вибором їх регульованих параметрів і режимів роботи КМ, агрофізичними параметрами насаджень коренеплодів і ґрунтово-кліматичними умовами збирання [1, 79-88].

Коренепідіймачі, які використовувалися на початкових етапах механізованого збирання коренеплодів, були першими прообразами замкнутих лемішних (рис. 1.20а,) і вилкових ВРО пасивного типу, застосування яких викликало нагальну необхідність не тільки порушувати зв'язки коренеплодів із ґрунтовим середовищем і укладати їх на поверхню поля, але й підбирати та передавати викопані коренеплоди на наступні ТТС КМ. Вони на той час забезпечували необхідну надійність роботи в оптимальних умовах ґрунту та забур'яненості посівів, але забивалися зволоженим ґрунтом і бур'янами при відхиленні від таких умов, а також зламували хвостову частину коренеплодів на твердих ґрунтах [89].

Для підвищення технологічних показників і показників якості роботи КМ надалі в конструкцію замкнутих ВРО було внесено суттєві зміни – праві та ліві лемішки або вилки (рис. 1.20б, в) закріплювали на окремих стояках під деяким

гострим або тупим кутом входження в ґрунт, що дозволяло хвостовій частині коренеплодів, деякій частині викопаних ґрунтових і рослинних домішок вільно проходити в зазор між задніми частинами робочого органу. Крім того, для розрізування верхнього шару ґрунту та рослинних залишків у передній частині копачів встановлювали вертикальні диски, що в деякій мірі зменшувало опір проходження лемешків або вилок у ґрунті, знижувало утворення його великих грудок та зависання бур'янів на стійки, а для покращення підбирання викопаних коренеплодів і передачі їх на наступні ТТС КМ на даному етапі розвитку ВРО – активні коренезабірники, які виконані у вигляді рухомих притискних елеваторів, приводних відбійних битерів або приводних дисків (рис. 1.20ж), які знайшли широке застосування в сучасних КМ.

Проте пасивні ВРО даного типу характеризуються значними енерговитратами, пошкодженнями та втратами великорозмірних коренеплодів і неста-

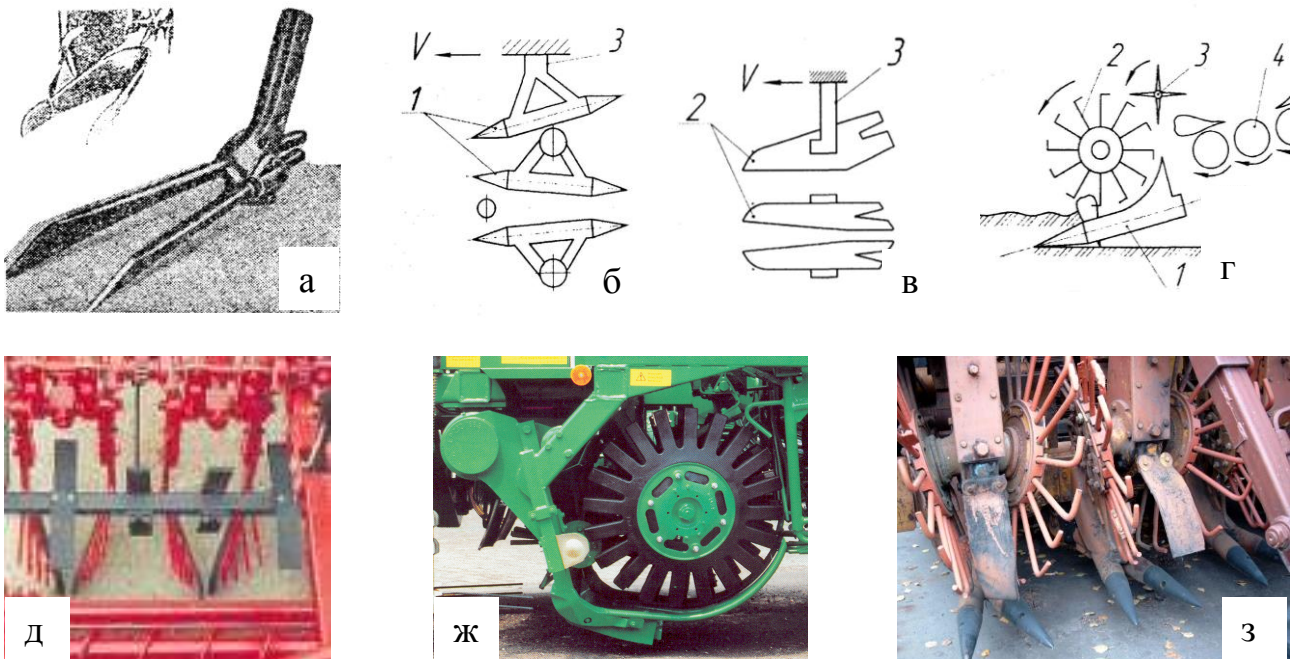


Рис. 1.20. Конструктивна схема та загальний вигляд лемішкових і вилкових

ВРО: а – замкнутий лемішний копач; б, в – відповідно, розімкнутий вилковий та лемішний копачі пасивного типу; г – замкнутий активний вилковий копач; д – вібраційний лемішний копач із відбійним бітером; ж – пасивний лемішний копач із активними ротаційними дисками; з – замкнутий активний ротаційно-вилковий копач

більшим виконанням процесу викопування у важких умовах збирання, що, незважаючи на простоту їх конструкції та малу металомісткість, усунуло їх використання в конструкціях КМ.

Пошук більш радикальних шляхів підвищення технологічної надійності роботи пасивних лемішкових і вилкових ВРО за рахунок збільшення активності їх робочих поверхонь було в подальшому досягнуто шляхом надання лемішним копачам низькочастотних коливних рухів (вібраційні ВРО, рис. 1.20д) або вилковим копачам обертального руху (ротаційно-вилкові ВРО, рис. 1.20г, з), що активізувало зусилля виймання коренеплодів із ґрунтового середовища і, як наслідок, повноту їхнього викопування, інтенсивність і фракційність розкришення грудок, значне зменшення тягового опору переміщення ВРО у ґрунті [1, 6, 7, 24, 51, 90-94]. Характерною ознакою ротаційно-вилкових копачів є розташування активних замкнутих конусоподібних вилок під певним кутом до осі рядка коренеплодів і до горизонту поля з утворенням відповідного кута розхилу між їх центральними осями обертання та встановлення над вилками приводного коренезабірника (рис. 1.20г, з).

При роботі ротаційно-вилкових ВРО процес формування витягувального зусилля та порушення силових зв'язків коренеплодів із ґрунтом є більш динамічним, ніж при дії лемішкових копачів. Активне переміщення коренеплодів у зоні обертання коренезабірника досягається за рахунок інтенсивного руйнування цих зв'язків обертовими конусними вилками, які створюють додаткове вертикальне витягувальне зусилля.

Даний тип ВРО, у основному, використовується на КМ вітчизняного виробництва – КС-6Б-01, КС-6Б-02, МКК-6-02, РКС-6, МКП-4(6) та застосовується при роботі КМ на легких та середніх ґрунтах і поступальній швидкості до 1,6 м/с і урожайності коренеплодів 300...350 ц/га [95, 96]. Проте на важких ґрунтах вони характеризуються значними пошкодженнями і втратами коренеплодів за рахунок злому їх хвостової частини, забиванням вилок рослинними домішками та вологим ґрунтом і, як наслідок, значним надходженням домішок на наступні ТТС КМ [1, 6, 11].

Характерною особливістю вібраційних ВРО є надання двом лемішкам, які закріплені на окремих стояках і встановлені один відносно другого під відповідним кутом розхилу, коливних рухів у повздовжньому і поперечному напрямках. Вібраційні ВРО знайшли широке практичне застосування в машинах провідних зарубіжних фірм світу: “Штоль”, “Кляйне”, “Матро”, “Моро”, “Тім”, “Ропа”, “Холмер” та ін. і можуть працювати на робочих швидкостях руху КМ до 2,5 м/с [35, 97, 98]. Принцип їх роботи полягає в руйнуванні ґрунтово-коренеплідного середовища вібруючою різальною кромкою лемешів за рахунок розхитування коренеплодів і переміщення їх вгору у вертикальній площині.

Існує велика множина конструктивно-технологічних схем ротаційно-вилкових і, особливо, вібраційних ВРО (додаток А 7.2.1), але специфічна загальна особливість і стійка закономірність роботи таких копачів (циліндричну частину вилок утворено активними роликами [99]; активна вилка переходить у спіраль-но-вальцьовий очисник вороху [100]; застосовано приводні бітерні вали над вилками [101]; коренезабірний механізм виконано у вигляді горизонтального вала з поворотними підпружиненими лопатками [102]; коренезабірник виконано у вигляді жорстких фігурних шприх [103]; на лопатках лемешів встановлено похилі приливи [104] або розрихлювачі ґрунту [105]; вертикальні активні диски встановлено в зоні пасивних копачів [106]; вертикальний роторний диск з прутковими шприхами [107]; застосовано гумову прокладку попереду металевої лопатки бітера [108] та ін.), яка полягає в стійкій кореляційній залежності показників якості викопування коренеплодів від їх оптимальних розмірних характеристик, на даному етапі не дозволяє застосовувати ці типи копачів для збирання дрібних і великорозмірних коренеплодів різних культур і сортів (урожайність коренеплодів менше 200...300 ц/га або більше 500...600 ц/га) [109]. При встановлених конкретизованих регульованих параметрах робочих органів (постійній величині переднього розхилу лемешів або вилок) відбуваються або значні втрати дрібних коренеплодів діаметром 40...70 мм [110], або пошкодження великорозмірних коренеплодів і навпаки, тобто використати ці типи ВРО у якості адаптованих для одночасного збирання ЦБ,

КБ, СБ і М у складі однієї КМ технічно та технологічно стає неможливим, як і поєднати при збиранні одночасно дві технологічні операції – викопування коренеплодів із одночасним видаленням залишків гички на їх головках, незважаючи на всі інші конструктивні недоліки вказаних ВРО (конструктивна складність, низький рівень надійності, виникнення неактивних, або “мертвих” робочих зон, доволі значна енергомісткість процесу і т.п.) та їх переваги – діапазон робочої вологості ґрунту знаходиться в межах 20...30 % [111].

Серед існуючих типів ВРО найбільш універсальними вважаються дискові копачі, характерною ознакою дводискових ВРО є вертикальне розташування двох плоских або сферичних (суцільних, рис. 1.21а, або променевих, рис. 1.21б) дисків, при цьому вертикальні осі дисків утворюють кут розвалу, а горизонтальні – кут атаки (рис. 1.21в), а вісь однодискових ВРО утворює тільки кут атаки в горизонтальній площині відносно осі рядка коренеплодів (рис. 1.21г). Дводискові ВРО виконуються у версіях з обома пасивними дисками, при цьому їх обертання здійснюється за рахунок зчеплення виступів із ґрунтом, які розташовують з неробочої сторони ободу диска (рис. 1.21д), одним (рис. 1.21ж) або двома активними дисками, а однодискові бувають тільки пасивного типу та можуть додатково мати пасивний полоз-лижу (так званий “євродиск”, рис. 1.21з), при цьому лижа виконує роль обмежувача глибини ходу диска та направляє “євродиск” вздовж осі рядка коренеплодів.

Дискові ВРО надійно виконують технологічний процес збирання коренеплодів у широких ґрунтово-кліматичних умовах: у порівнянні з лемішними або вилковими ВРО, мають більш високу ґрунтоподрібнюючу здатність; не втрачають працездатність (не забиваються бур’янами і не залипають вологим ґрунтом) при роботі на ділянках поля з підвищеною вологістю ґрунту та забур’яненістю посівів); при одних і тих же відхиленнях коренеплодів від осі рядка, які мають випадковий характер, дискові ВРО можуть працювати на більшій поступальній швидкості руху КМ (до 2,6 м/с) ніж машина, яка обладнана лемішними або вилковими ВРО при однакових показниках якості викопування та подачі викопаного вороху на наступні ТТС КМ [1, 61, 111-120].

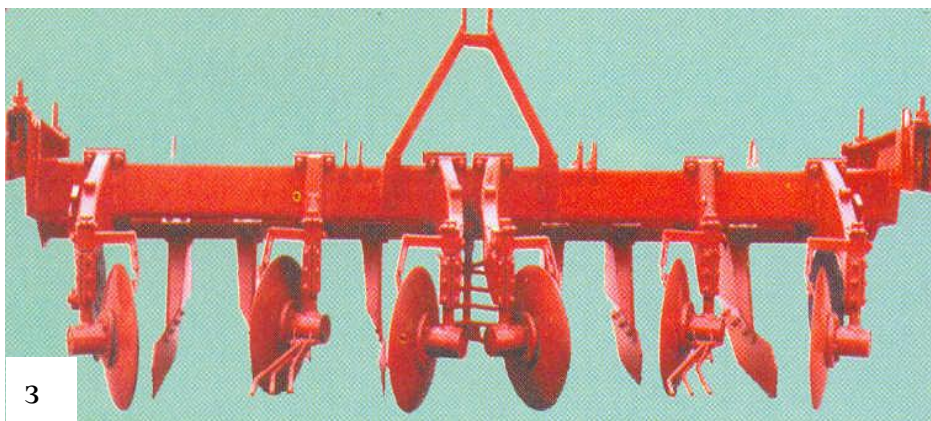
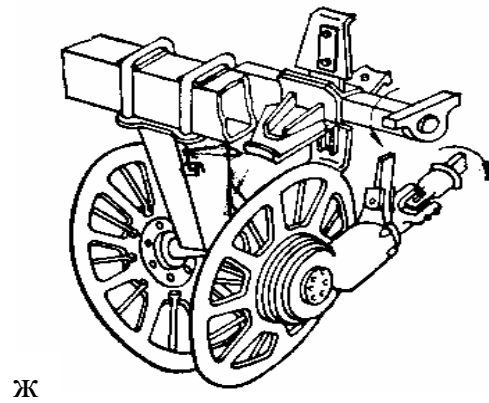
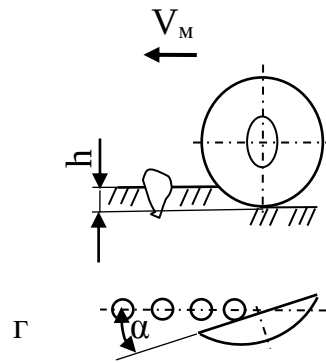
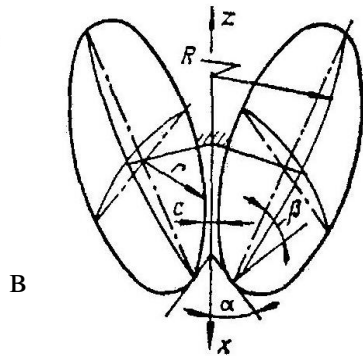
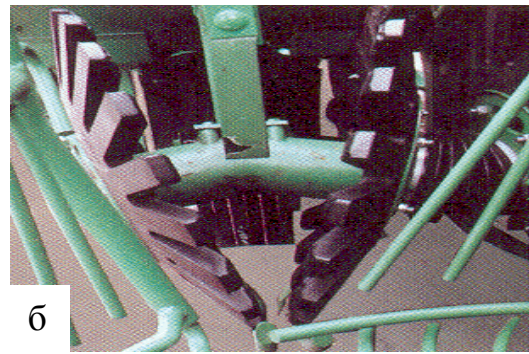


Рис. 1.21. Конструктивні схеми та загальні вигляди дискових ВРО:
а, б, д, з – загальний вигляд відповідно дводискового суцільного, променевого, з двома пасивними дисками та одним приводним диском; в, г – схема, відповідно дво- та однодискового копача

Отже, дводискові копачі мають ряд суттєвих недоліків: серед існуючих типів активних робочих органів вони є найбільш енергомісткими, мають значне коливання заданої глибини ходу на ґрунтах із зниженою вологістю й защемлюють незруйновані грудки та подають їх на наступні ТТС КМ, зламують хвостову частину коренеплодів, чим значно знижують, встановлені агротехнічними вимогами, показники якості роботи ВРО. Копачі з одним приводним диском забезпечують менші забруднення коренеплодів землею і можуть функціонувати в більш складних умовах збирання, ніж ВРО із двома пасивними дисками. Однак, складна орієнтація дисків по відношенню до рядків коренеплодів призвела до ускладнення елементів їх приводу.

Для часткового усунення вказаних недоліків було запропоновано велику гаму удосконалених дводискових ВРО: виконання дисків у вигляді секторних пелюсток [121], які забезпечують пружне защемлення коренеплодів у процесі викопування; виконання диска копача зі змінними пластинами [122], які забезпечують покращення зчеплення диска з ґрунтом і подрібнення його грудок; диск, який має кінематичний зв'язок з гідروциліндром (система захисту від поломок) [123]; дводисковий копач додатково обладнується допоміжними дисками, які встановлені попереду основних і мають менший зовнішній діаметр [124, 125] та забезпечують зменшення енергомісткості процесу шляхом порушення зв'язків коренеплодів з ґрунтом; встановлення в просторі розхилу дисків пасивних і активних очисних еластичних елементів [126, 127], що забезпечує часткове доочищення голівок коренеплодів від залишків гички.

Аналогічно лемішним і вилковим ВРО дводискові копачі також відрегульовані на постійну величину переднього розхилу дисків, що також призводить до суттєвих пошкоджень великорозмірних та значних втрат дрібних коренеплодів. Тісна залежність регулювання відстані між суміжними дисками у відповідності з розмірними характеристиками коренеплодів також повністю виключає можливість застосування цього типу ВРО як адаптованих для одночасного збирання рівновеликих за своїми характеристиками коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М у складі однієї КМ. Крім того, аналогічно лемішковим і вилковим ВРО у дводискових

копачах також конструктивно та якісно технологічно неможливо поєднати при збиранні одночасно дві технологічні операції – викопування коренеплодів із одночасним видаленням залишків гички на їх головках, незважаючи на всі інші конструктивні недоліки наведених удосконалених ВРО: конструктивна складність, досить значна енергомісткість процесу, недостатньо-необхідна кутова швидкість обертання доочисних елементів і т.п. [128, 129].

Крім того, принциповим загальним недоліком роботи існуючих і технічно реалізованих наведених чотирьох типів ВРО, якими, в основному, обладнують навісні, причіпні й самохідні КМ та СБК, все ще залишається значна секундна подача на наступні ТТС КМ вільного та налиплого на поверхні тіла коренеплодів ґрунту, а саме 10...15 кг/с при робочій швидкості КМ до 1,6 м/с [130] із одного п.м рядка, при цьому 20...50 % від загальної кількості складає маса налиплого ґрунту [131, 132], що призвело до значного збільшення протяжності (до 10...14 м) та конструктивної складності ОРО [1, 98].

Якщо при зниженій вологості ґрунту критичними факторами роботи наведених копачів є заглиблення викопувальних робочих органів, незадовільне руйнування піднятого разом із коренеплодами пласта ґрунту, втрати коренеплодів за рахунок злому їх хвостової частини, то в зволжених умовах – налипання ґрунту на робочі поверхні ВРО і забивання копачів, втрати цілих коренеплодів і практична відсутність очищення тіла коренеплодів від налиплого на їх поверхні ґрунту.

Односторонні пасивні копачі (рис. 1.21г, з) являють собою односторонній сферичний диск, який встановлений під деяким кутом α відносно осі рядка коренеплодів або напрямку вектора V_m робочої швидкості руху КМ і обертається внаслідок сил тертя, які виникають за рахунок зчеплення сферичної робочої поверхні диска з ґрунтово-коренеплідним середовищем. Із всієї різновидності копачів, односторонні сферичні ВРО мають просту конструкцію, є найменш метало- та енергомісткими, мають широкий спектр застосування для викопування коренеплодів при задовільних показниках якості їх роботи [7, 8, 50, 51, 60, 89, 112, 133, 134].

Суттєві недоліки їх роботи, які полягають у незадовільному заглибленні робочої кромки диска в ґрунт при пониженій вологості ґрунту, відсутності, одночасного з викопуванням коренеплодів, видалення залишків гички на їх головках можуть прогнозовано усуватися подальшим конструктивно-технологічним удосконаленням даного типу ВРО [135, 136, 137] із науково-обґрунтованими та оптимізованими конструктивно-кінематичними параметрами його робочих органів при одночасному комплексному врахуванні в процесі оптимізації всіх складових складної моделюючої системи «сферичний диск-ґрунт-коренеплід».

Теоретичному та експериментальному дослідженню процесів викопування коренеплодів із визначенням параметрів робочих органів ТТС присвячені праці учених Булгакова В.М., Василенка П.М., Гевка Р.Б., Головача І.В., Погорілого Л.В., Петрова Г.Д., Татьяна М.В., Хелемендика М.М., Шабельника Б.П., науковців Аванесова Ю.Б., Брея В.В., Герасимчика В.Г., Гурченка О.П., Савича П.В., Савченка І.Ф., Ямков О.В. та інших [1, 11, 27, 56, 57, 70-74, 92, 94, 96, 138-152].

Проте, у силу конструктивної неспроможності та нездатності задовільного викопування крупнорозмірних коренеплодів, якими є КБ, у загальному аспекті відомими результатами наукових досліджень скористатися неможливо, але на основні положення необхідно звернути увагу. На основі досліджень агробіологічних характеристик і фізико-механічних властивостей коренеплодів Погорілий Л.В., Брей В.В., Шабельник Б.П., Погорілий М.Л. та ін. [1, 7, 14, 24, 33, 48, 50, 54, 56 79, 80, 83, 87-89, 153-160] зробили висновок, що обґрунтування параметрів будь-якого типу ВРО необхідно проводити з умови безпосереднього врахування фізико-механічних властивостей ґрунту, ймовірних розмірно-масових характеристик коренеплодів і їх розміщення в рядку тощо.

Дослідженням процесу викопування коренеплодів однодисковим сферичним копачем присвячено наукові роботи Погорілого Л.В., Булгакова В.М., Герасимчук Г.А., Гурченка О.П., Завгороднього А.Ф., Кобця А.С., Петрова Г.Д., Русанова І.І. та інших [1, 8, 11, 23, 26, 35, 49, 51-53, 57, 60, 74, 76, 90, 94, 109, 115, 117, 131, 134, 161-164]. Основні тенденції, які характеризують базову наукову сутність, структуру та зміст наведених робіт полягають тільки у загальній

характеристиці та загальному аналізу головних критеріїв побудови конструктивно-компонувальних схем і функціонування технологічних процесів роботи однодискових викопуючих робочих органів, а результати зарубіжних авторів вказують тільки на кінцеві позитивні показники якості викопування коренеплодів.

Таким чином, можна констатувати:

1. Розглянуті типи ВРО мають ряд суттєвих конструктивних і технологічних недоліків, які повністю усувають їх можливість адаптованого застосування для збирання різних культур коренеплодів.

2. Удосконалений комбінований ВРО може бути використаний у якості АВТОКРО для викопування коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М однією АКМ після проведення оптимізації параметрів і режимів його роботи.

1.2.2. Огляд конструктивно-технологічних схем і робочих органів очисників вороху коренеплодів

Викопаний копачами КМ ВК – це різноструктурований матеріал або середовище, складовими компонентами якого є коренеплоди та домішки, при цьому складовими компонента домішок є ґрунтові та рослинні домішки, які в свою чергу складаються з вільних домішок (вільний ґрунт і вільні рослинні домішки, до яких відносяться втрачена під час збирання гичка та бур'яни) і зв'язаних з коренеплодами домішок (налиплий ґрунт на підземній частині тіла коренеплодів та залишки гички на головках коренеплодів [22-24].

За своєю агробіологічною будовою складові компоненти ВК мають різні фізико-механічні і агробіологічні властивості та формують багатогранне, або складне робоче реологічне середовище «коренеплід-домішки-очисник вороху», при цьому особливості структури даного середовища мають істотний і суттєвий вплив на основні показники технологічного процесу відокремлення домішок від коренеплодів робочими органами очисників [1, 25, 26].

Тому розробку та вдосконалення конструктивно-компонувальних схем КМ та обґрунтування параметрів їх робочих органів необхідно проводити з

урахуванням специфічних властивостей даного середовища, що є особливо важливим і актуальним для очисників вороху, на які надходить доволі значна кількість домішок ВК (домішок ґрунту – до 80...90 %, в тому числі налиплого ґрунту – до 3...5 %; рослинних домішок – до 10...15 %; залишків гички на головках коренеплодів – 5...10 % відносно відсоткового значення сумарних домішок ВК, які становлять 30...40 % залежно від умов роботи КМ [7, 27, 28]) і, які необхідно відокремити від коренеплодів, забезпечивши при цьому необхідні показники якості роботи згідно з агротехнічними вимогами [1, 2, 19, 116].

Основними показниками коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М, що суттєво регламентують технологічний процес та основні показники якості сепарації домішок, є розмірно-масові та фізико-механічні характеристики основного компонента ВК, які коливаються в певних межах.

Згідно з дослідженнями [1, 7, 25-29], кількість коренеплодів у викопаному копачами КМ вороху складає 60...70 % залежно від їх урожайності та умов роботи збирального комплексу.

Характеристики коренеплодів, як основного діючого елемента моделі «коренеплід-домішки-очисник вороху», необхідно враховувати у сукупності їх механічних властивостей і розмірних параметрів, які забезпечують допустимі межі кінематичних і динамічних дій на них робочих органів очисників.

Розмір і форма коренеплоду залежать від умов вирощування, глибини оранки, вологості та щільності ґрунту тощо. Коренеплоди, які ростуть в умовах підвищеної щільності, мають, як правило, бочковидну або округлу форму. В умовах високої вологості ґрунту, коли у рослин відпадає необхідність у розвитку глибокої і потужної кореневої системи, формується вкорочений коренеплід [50].

У загальному за формою та структурою розрізняють наступні типи коренеплодів: мішковидної форми, зрізаного конуса, конічні, циліндричні та вузькоголові.

Закон розподілення більшості розмірних і масових характеристик коренеплодів, як цукрових, так і кормових буряків (рис. 1.22) близький до усіченого нормального закону не тільки кожного окремого масиву, але і всієї

його множини [1, 27, 28], при цьому маса коренеплодів в рядку розподіляється згідно з логарифмічним нормальним законом [1] при посіві коренеплодів на кінцеву густоту, а між розмірами і масовими характеристиками коренеплодів (рис. 1.23) мають місце тісні кореляційні залежності, які близькі до лінійних (коефіцієнти кореляції змінних пар коливаються в межах 0,60...0,89 [2, 29, 30].

Для аналізу і синтезу робочих органів очисників ВК важливо знати механічні характеристики, особливо пружно-в'язкі характеристики головки та тіла коренеплодів і міцності характеристики черешків залишків гички на їх головках, при цьому розподілення нормального зусилля розриву черешків (2,0...3,8 Н) описується нормальним законом, а дотичні зусилля на розрив в 2...2,5 рази менші нормальних (середнє значення 1,14 МПа) [2, 31, 32].

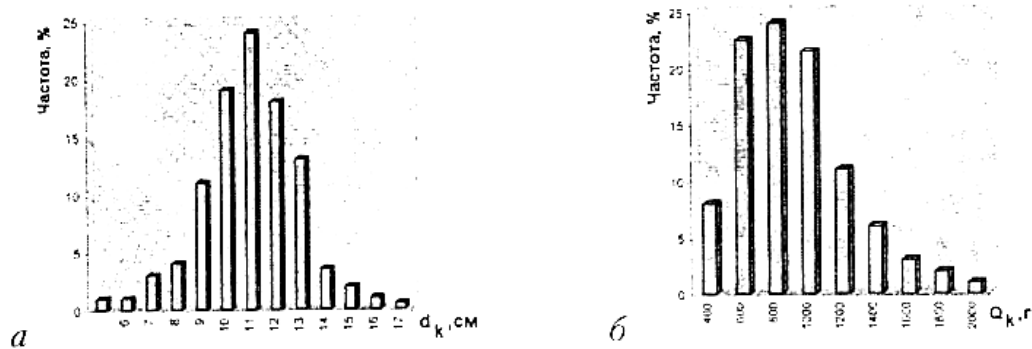


Рис. 1.22. Щільність розподілу розмірно-масових характеристик коренеплодів: а – діаметр коренеплодів; б – маса коренеплодів

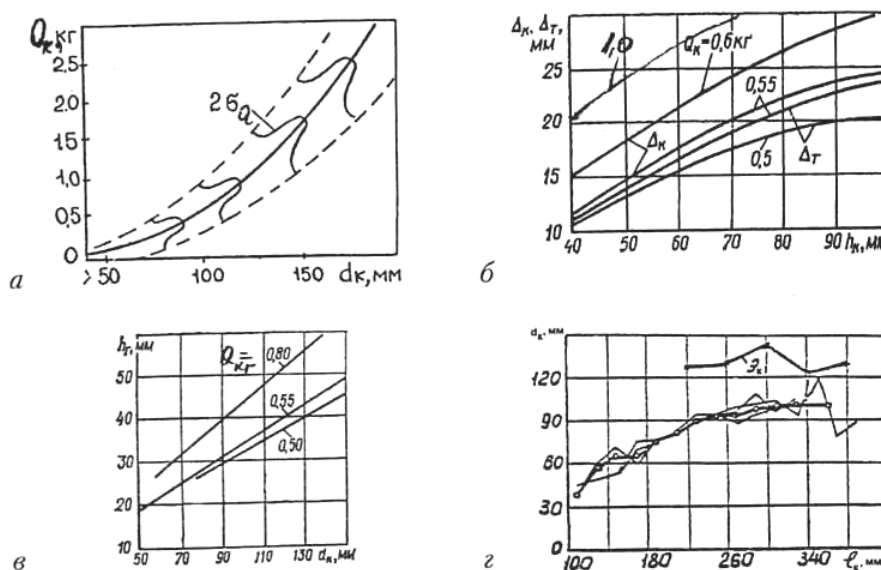


Рис. 1.23. Регресійні залежності : а – маса-діаметр коренеплодів; в – висота головки-діаметр коренеплодів; г – діаметр-довжина коренеплодів

Головку коренеплодів можна моделювати, як пружно-в'язке-пластичне середовище, тобто її фізична модель може бути побудована з трьох типових елементів – пружного, в'язкого і пластичного, при цьому модуль пружності головки становить $0,18...0,20$ кН/мм, а модуль зсуву – $0,07$ кН/мм [2, 33, 34].

Для вирішення задач інтенсифікації процесу очищення коренеплодів від налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла (близько 180 г при ручному викопуванні та $16...25$ г при викопуванні дисковими копачами) важливе значення має встановлення динамічних характеристик моделі (рис. 1.24), таких як міцність зв'язку ґрунту з тілом коренеплодів, їх пошкодження при ударно-імпульсних навантаженнях тощо [2, 35, 80].

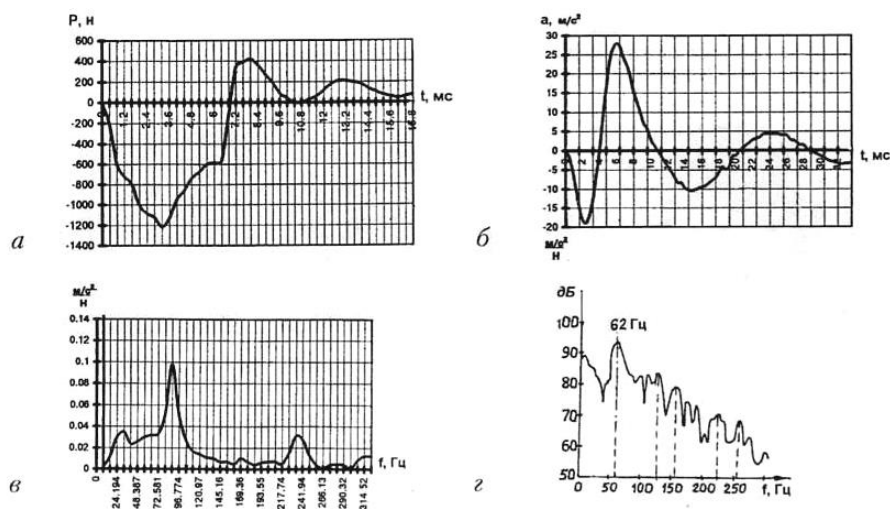


Рис. 1.24. Динамічні характеристики ударно-імпульсного навантаження на коренеплід: а – ударна дія; б – прискорення головки коренеплоду; в – спектр прискорень; г – амплітудно-частотна характеристика

Матеріал тіла коренеплоду – крихкий, анізотропний, неоднорідний за своєю довжиною і в поперечному січенні. При динамічній дії маятниковим копром коренеплоди проявляють більшу крихкість і менший опір, ніж при статичному навантаженні. Біля хвостової частини (діаметр $10...30$ мм) коренеплід менш крихкий, а під час динамічного навантаження спостерігаються помітні ознаки пластичних деформацій.

Другим важливим компонентом ВК є домішки вільного ґрунту, який в рядку коренеплодів на глибині ходу копачів $7...12$ см є статистично неоднорідним

за ступенем ущільненості та наявності тріщин. Основним джерелом утворення грудок, є середній шар ґрунту, який містить велику кількість ущільнених ділянок, а його твердість досягає 450...800 Н/см². Основні характеристики фізичного стану ґрунту в шарі 10...30 см в період збирання [80, 109] описуються нормальним законом розподілу (середня щільність близько 220,5 Н/см², середня вологість близько 16,8 %), при цьому на зміну характеристик ґрунту, крім добових і сезонних коливань, впливають природні фактори.

Зв'язки коренеплодів з ґрунтом найбільш ефективно руйнуються при знакозмінному імпульсному механічно-динамічному навантаженні [1, 36, 56, 72]. Встановлено, коренеплоди в більшості випадків звільняються від зв'язків з ґрунтом вже після 4...6 ударів маятникового копра з енергією 24,5...30,0 Нм.

Найбільш ефективно ґрунт відокремлюється при невисокій (3,0...7,0 Нм) інтенсивності ударів, особливо при частоту їх повторенні, а для забезпечення допустимих пошкоджень тіла коренеплодів необхідно враховувати критичні ударні навантаження зі сторони робочих поверхонь очисників, при цьому одними з основних факторів, які впливають на зміну глибини пошкодження тіла коренеплодів є форма поверхні робочого органу, швидкість ударної взаємодії коренеплоду з поверхнею та маса коренеплодів [73, 74, 80].

Аналіз еволюції технологічних процесів збирання коренеплодів, які тісно пов'язані з відповідними етапами розвитку конструкцій КМ [1, 13] повною мірою показує, що головною світовою тенденцією збирання коренеплодів є перехід на надпотужні самохідні бурякозбиральні комплекси, які оснащені складними багатоступеневими системами очищення викопаного ВК (площа очисних систем ВК становить 10...15 м², кількість домішок – 4...8 кг/п.м), які значно ускладнюють конструкцію КМ, підвищують енергетичні показники та вартість машин, знижують економічну ефективність їх використання [7, 9].

Значна наявність різних за своєю структурою компоновальних схем і робочих органів ОРО та створених на їх базі комбінованих очисних систем (КОС) ВК, які відрізняються один від одного не тільки конструктивними критеріями, але й принципом дії або способом відокремлення домішок, регламентується наявністю

різноскладових компонентів домішок ВК, які різноманітні за своїм фракційним складом і фізичним станом [1, 19, 24, 42, 61, 79, 93].

Основними критеріями оцінки технічного рівня КМ є співвідношення втрат, забрудненості та пошкоджень коренеплодів. Підвищення показників якості роботи КМ, дослідження основних положень функціонування процесу роботи очисників ВК залишається актуальною науковою проблемою щодо подальшого їх удосконалення і розвитку вітчизняних КМ [165].

У плані подальшого аналізу КОС коротко розглянемо конструктивно-технологічні аспекти основних робочих органів очисників ВК, як базових структурних елементів побудови КОС. За конструктивним виконанням і технологічною схемою оброблення ВК найбільше розповсюдження знайшли транспортерні, кулачкові, роторні, шнекові та комбіновані очисники.

Транспортерні, кулачкові, роторні та шнекові очисники розташовують безпосередньо за викопувальними робочими органами або в середній частині технологічної схеми коренезбиральної машини. Вони, як правило, здійснюють "агресивну" сепарацію вороху, коли від коренеплодів відділяється основна маса ґрунту. Комбіновані очисники розташовують в кінці технологічного процесу сепарації вороху, тобто вже безпосередньо перед фазою завантаження коренеплодів в бункер машини або в технологічний транспорт. Їх ще називають доочисниками, тому що їх функціональне призначення – кінцеве доочищення вороху коренеплодів і до них висуваються особливі умови, а саме максимальне відокремлення залишкових домішок при мінімізації пошкоджень і втрат коренів [34, 166].

У транспортерних очисниках, які є просівального та фрикційного типів і бувають одно- або двоконтурними (додаток А.8.2.2), робоче русло утворене прутковими транспортерами, при цьому верхній контур 3 або 2 може бути, відповідно, нерухомим або активним за умови, що швидкість контура $V_1 > V_2$. За рахунок цього відбувається деяке розосередження ВК, його відносне переміщення та часткове просіювання вільного ґрунту між прутками. Транспортерні очисники в конструкціях КМ виконують функції переміщення ВК від одного до іншого робочого вузла машини, або застосовуються на підбирачах валків ВК.

Недоліком вказаних очисників є практично відсутнє відокремлення налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів, незадовільна ступінь відокремлення вільних ґрунтових і рослинних домішок, а також залишків гички на головках [1, 9, 16, 34, 167].

У фрикційних очисниках, для розділення вороху на складові компоненти домішок – вільного ґрунту та втраченої гички, рослинних залишків тощо, використовується різниця коефіцієнтів тертя коренеплодів і домішок. До фрикційних робочих органів в основному відносять різні комбінації гірок, поздовжніх і поперечних, які виконані у вигляді замкнутих стрічкових транспортерів, напрям руху яких, відповідно, або збігається з напрямком руху вороху, або навпаки [71, 93, 131, 134, 169, 170].

На рис. 1.25а наведена конструктивна схема розташування повздовжньої гірки в технологічному процесі роботи КМ, а на рис. 1.25 б – загальний вигляд пальчикової гірки.

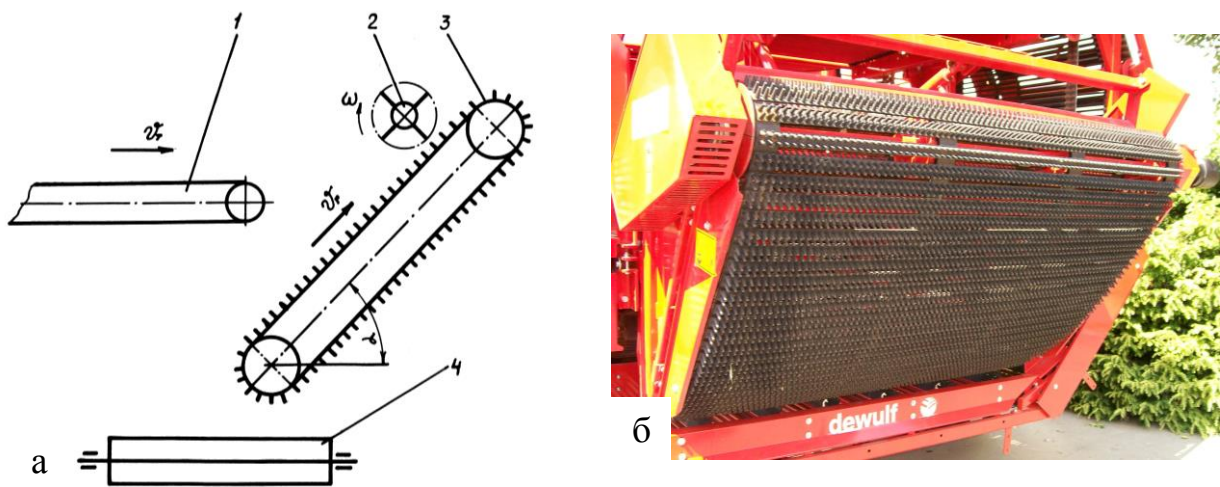


Рис. 1. 25. Схема гірки: а – конструктивна; б – загальний вигляд;

1 – транспортер; 2 – бітер; 3 – гірка; 4 – приймальний транспортер

Гірки виділяють із ВК переважно плоскі й багатогранні домішки, при цьому їх розділювальна спроможність в оптимальних умовах збирання не перевищує 40 % [171] за рахунок того, що дрібний ґрунт, який знаходиться в зоні сепарації, зменшує різницю коефіцієнтів тертя коренеплодів і домішок [172].

Основними недоліками кулачкових і бітерних очисників (додаток А.9.2.2) є підвищене пошкодження коренеплодів та жорстка залежність лінійних

розмірів кулачків від розмірних характеристик коренеплодів і грудок ґрунту [165, 173, 174, 175] та намотування рослинних залишків (особливо бур'янів) на поверхні кулачків і їх залипання вологим ґрунтом, тому вони не знайшли широкого виробничого застосування. Бітерні очисники розробляються двох типів – з похилим і паралельним розташуванням лопатей, в яких функції сепарації ґрунту і відокремлення рослинних домішок відбуваються без затискування елементів вороху (РКМ-6, РКМ-6-03, МКК-6). Такі очисники незадовільно відокремлюють з вороху великі за розмірами рослинні залишки та мають низьку ефективність роботи на вологих і сухих ґрунтах [176].

Роторні очисники застосовуються практично у всіх сучасних західно-європейських бурякозбиральних машинах і СКБ: “Tim”, “Thyregot” (Данія); “Kleine”, “Stoll”, “Holmer”, “WKM” (ФРН); “Mogean”, “Неггіау”, “Matrot” (Франція) тощо. Такі очисники мають ряд специфічних переваг, в числі яких найбільш істотними є простота конструкції, надійність і достатньо висока очисна ефективність, особливо при роботі в умовах підвищеної вологості ґрунту, яка характерна для умов Західної Європи.

Конструктивно-технологічні схеми компоновки КМ з використанням роторних очисників залежать від схеми розташування роторів, їх кількості, напрямку обертання, типу викопувальних робочих органів, ґрунтово-кліматичних умов, а також технології використання коренеплодів (рис. 1.26, додаток А.10.2.2). Ефективність сепарації домішок у роторних очисниках досягається за рахунок їх просіювання через решітчасту поверхню диска і направляючих бокових решіток. Роторні очисники серед існуючих типів вважаються найбільш агресивними з точки зору їх дії на коренеплоди.

Очисний ротор виконує функцію як транспортуючого органу, що формує потік коренеплодів відразу після копачів КМ (рис. 1.26а, д, г; рис. 1.А.10.2.2 додатка А.10.2.2), так і очисного (рис. 1.26б), або ці функції поєднуються транспортно-очисним робочим органом (рис. 1.26в). Завдяки великій площі просіювання, динамічній дії прутків на ВК і створенню відцентрових сил, що притискують коренеплоди до периферійних прутків решітки, роторні очисники

задовільно відокремлюють вільні домішки, частково очищають коренеплоди від налиплого на їх тілі ґрунту. Максимальний очисний ефект досягається при центральному куті обтікання очисного ротора ВК не менше 150° [177, 178].

Очисники роторного типу характеризуються простотою і незначною матеріаломісткістю, однак мають ряд недоліків. Із-за наявності зазору в зоні переходу вороху з одного диска на другий спостерігаються втрати коренеплодів внаслідок вмивання їх в ґрунт, а також згруження маси при сходженні потоків, які поступають з двох дисків. Крім того, роторні очисники травмують коренеплоди при переході їх з одного диска на другий в основному внаслідок злому їх хвостової частини і ефективно працюють лише при великих кутах нахилу дисків (турбін), що значно обмежує їх застосування [179].

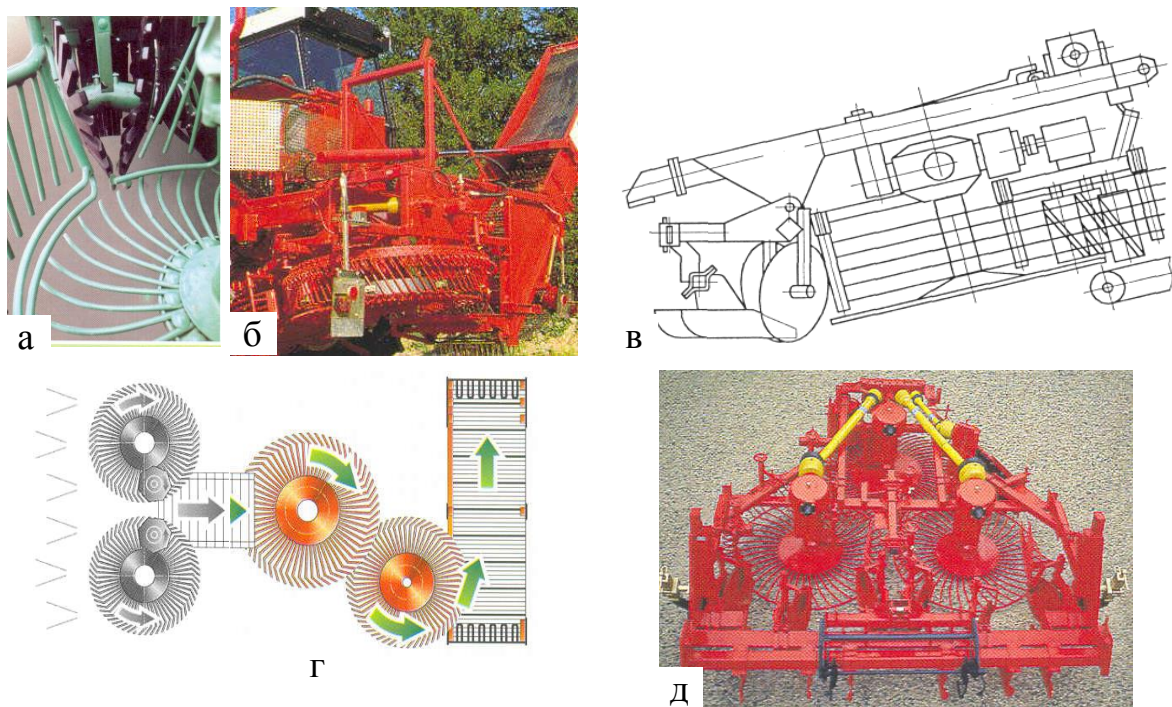


Рис. 1.26. Загальний вигляд і конструктивні схеми роторних очисників

Найбільшого поширення набули шнекові очисники ВК завдяки їх універсальності. Із варіантів конструкцій шнекових очисників можна виділити два основних: очисники з подовжнім і поперечним рухом ВК.

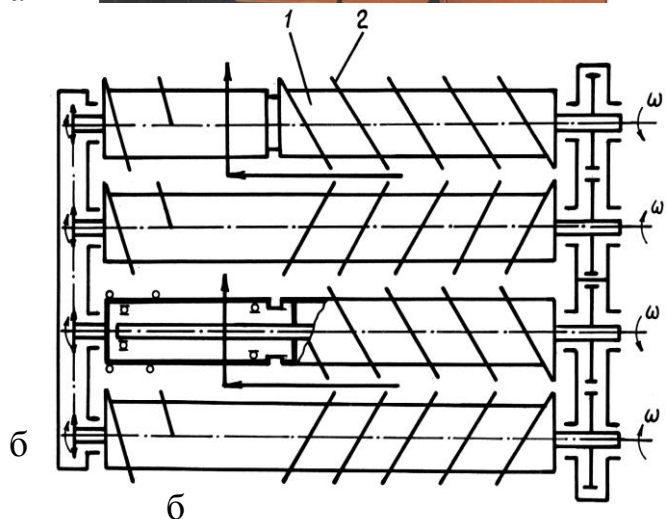
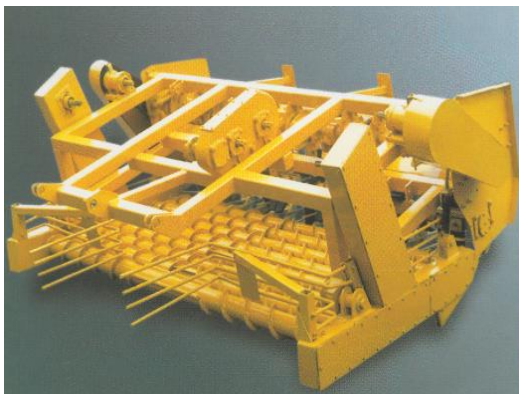
Повздовжні шнекові очисники (рис. 1.27а) забезпечують очищення і транспортування коренеплодів у напрямку осі обертання і характеризуються протилежним напрямком навивання та обертання спіралей, але мають невеликий очисний ефект.

Поперечні шнекові очисники (рис. 1.27б, додаток А.11.2.2) застосовуються в багаторядних машинах, їх особливістю є те, що вали обертаються в одному напрямку, а спіралі виготовляються з різним напрямком навивання. Шнеки, які розташовані біля копача, забезпечують розведення вороху до периферії валів, а задній блок шнеків зводить потік буряків в зону вивантаження.

Шнекові робочі органи очищають і транспортують коренеплоди в напрямку осі обертання або перпендикулярно до неї. До переваг таких робочих органів можна віднести простоту конструкції, можливість суміщення в одному робочому органі функцій очищення й транспортування. Основними недоліками є залипання шнеків землею в процесі роботи у вологих ґрунтових умовах, що значно знижує показники якості процесу сепарації, а також значні пошкодження коренеплодів під час безпосередньої взаємодії з рифом шнека, ймовірність чого збільшується в процесі збирання коренеплодів на ґрунтах вологістю 15 % і менше. Із підвищенням вологості до 28% очисники втрачають працездатність [180, 181].



а



б

Рис. 1.27. Загальний вигляд шнекового очисника:

а, б – відповідно, поздовжній і поперечний шнековий очисник

Для інтенсифікації процесу розмежування та відокремлення домішок від коренеплодів запропоновано застосовувати КОС, які представляють собою комбінації транспортерних і шнекових очисних робочих органів (рис. 1.28) та застосовуються залежно від конкретних функцій очисних пристроїв, умов роботи, а також для регулювання ступеня агресивної дії очисних поверхонь на коренеплоди [51, 60, 131, 182]. Тому у компоновальних схемах машин знаходять застосування КОС ВК, які сприяють покращенню їх очищення при менш агресивній дії робочих поверхонь на продукт обробки. Зменшення агресивності впливу робочих органів на коренеплоди в напрямку руху потоку вороху від копача під час їх очищення обумовлене тим, що зростає ймовірність взаємодії робочих органів з чистою поверхнею коренеплодів, де пошкодження будуть максимальними [181].

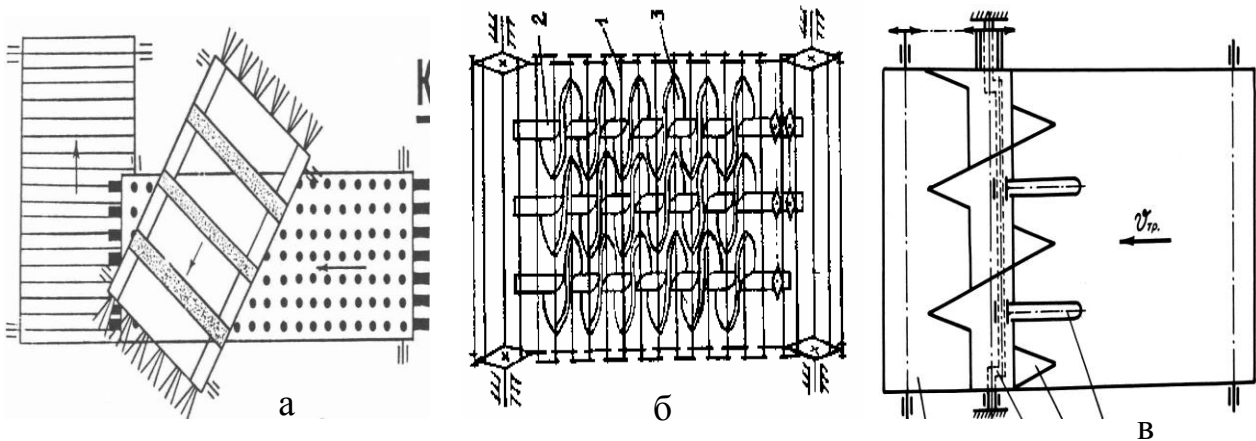


Рис. 1.28. Конструктивні схеми КОС з активаторами:

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

Шляхом надання коренеплодам вертикального осилюючого руху під час процесу їх очищення від домішок, М.Р. Паньків та Н.Є Влас запропонували виконувати шнекові очисні вали еліпсними [183] та ексцентричними [184].

КОС ВК (рис. 1.29а, б) є поєднанням двоконтурного елеваторного очисного робочого органу 1 і очисної гірки 2 з пальчиковою поверхнею 3. У нижній частині очисної гірки розміщено повздовжній шнековий очисник 6, причому осі обертання шнеків знаходяться на нижній вітці еліпса, які утворюють жолоб робочого русла. Шнеки виконані з круглим перерізом на відміну від двох пар еліпсних шнеків 1, 2 (рис. 1.29в, г).

Недоліками даної очисної системи є незадовільна якість очищення вороху коренеплодів в умовах надмірної вологості ґрунту – шнеки залипають вологим ґрунтом і втрачають свою працездатність. За рахунок надання ВК вертикального осцилюючого руху при його поздовжньому переміщенні над еліптичними валами відбувається значна інтенсифікація процесу відокремлення домішок від коренеплодів, але основним недоліком даної очисної системи є незадовільне відокремлення налиплого ґрунту з поверхні тіла коренеплодів і значне пошкодження коренеплодів за рахунок затягування їх хвостової частини між вальцями [185].

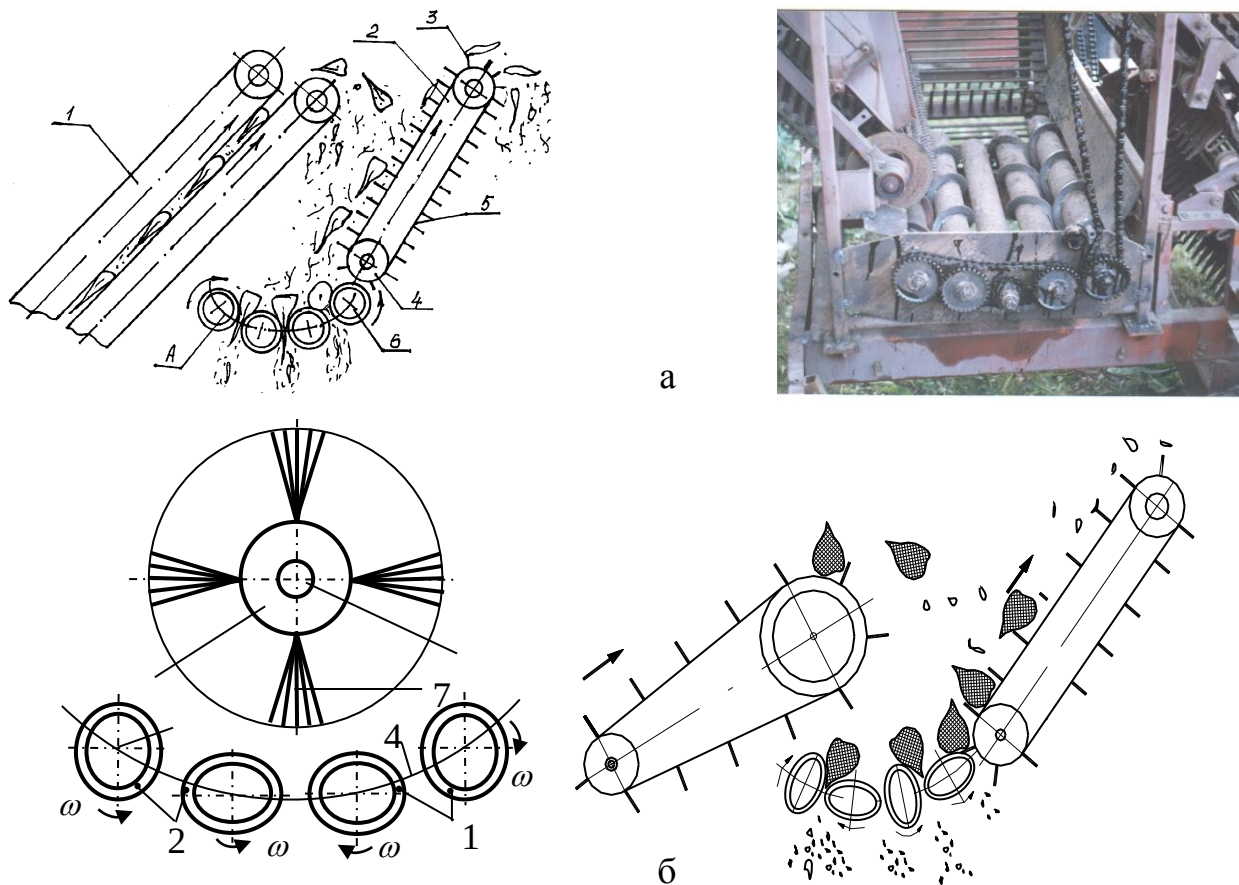


Рис. 1.29. Схеми та загальний вигляд КОС ВК з шнековими очисними робочими органами: а – круглого перерізу; б – із еліптичними шнеками

Але наявні суттєві конструктивні та технологічні недоліки роботи КОС та їх сукупність: пошкодження та втрати коренеплодів; незадовільне відокремлення домішок від коренеплодів і особливо налиплого ґрунту на їх поверхні у важких умовах збирання, конструктивна складність, динамічні навантаження на опори валів тощо – значно обмежують їх застосування для очищення ВК [179].

Теоретичному та експериментальному дослідженню технологічних процесів очищення ВК від домішок із визначенням параметрів ОРО присвячені праці видатних вчених Булгакова В.М., Василенка П.М., Гевка Б.М., Гевка Р.Б., Головача І.В., Погорілого Л.В., Рогатинського Р.М., Савича П.В., Хелемендика М.М., Шабельника Б.П., Підгурського М.І., науковців Аванесова Ю.Б., Гандзюка О.М., Гурченка О.П., Дубчак Н.А., Данильченка М.Г., Завгороднього А.Ф., Паньків М.Р., Рамша В.Ю., Сарапулова А.К., Полупанова В.М. та ін. [1, 11, 21, 42, 114, 144, 174, 175, 178, 183, 186-193]. 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 досліджень та розрахунку очисних робочих органів базових вузлів КМ.

Аналіз відомих праць показав, що у повному обсязі результатами і методами розрахунку скористатися неможливо, тому що запропонований нами АТОКРО має ряд специфічних конструктивно-технологічних особливостей [179].

Підвищення показників агротехнічної ефективності та технологічної надійності КМ при їх роботі в різних ґрунтово-кліматичних умовах (при різних фізико-механічних властивостях ґрунту і коренеплодів, параметрах насаджень, забрудненості полів тощо), у тому числі при роботі в екстремальних умовах (при вологості ґрунту 22...26%, твердості понад 3,5 МПа і врожайності 300...600 (ц/га), необхідно здійснювати з урахуванням реологічних характеристик середовища або системи з якими безпосередньо взаємодіють робочі органи [194].

Суттєві недоліки роботи існуючих ОРО, які полягають у незадовільному відокремленні домішок від коренеплодів при пониженій вологості ґрунту, відсутності, одночасного з викопуванням коренеплодів, видалення залишків гички на їх головках можуть прогнозовано усуватися подальшим конструктивно-технологічним удосконаленням наявних ОРО із науково-обґрунтованими та оптимізованими конструктивно-кінематичними параметрами його робочих органів при одночасному комплексному врахуванні в процесі оптимізації всіх складових складної моделюючої системи «робочий орган-ВК» [195, 196].

Таким чином, можна констатувати:

1. Розглянуті типи ОРО мають ряд суттєвих конструктивних і технологічних недоліків, які повністю виключають їх можливість адаптованого застосування для збирання різних культур коренеплодів.
2. Удосконалений комбінований ОРО може бути використаний у якості АТОКРО для відокремлення домішок від коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М однією АКМ після проведення оптимізації параметрів і режимів його роботи.

1.3. Мета та завдання дослідження

Таким чином, на основі проведеного аналізу можна констатувати, що основними критеріями, які характеризують незадовільну технологічно-експлуатаційну ефективність використання КМ, особливо у важких умовах роботи, є значна ступінь залежності якості видалення гички і викопування коренеплодів, забрудненості викопаного ВК домішками від фізичного стану ґрунту і параметрів насаджень рослин, що призводить до неможливості застосування однієї КМ для збирання різних культур коренеплодів.

Вирішення важливої науково-технічної проблеми полягає у розробці аналітично-емпіричних методів оптимізації технологічних, конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи адаптованої коренезбиральної машини з врахуванням реальних умов експлуатації, зокрема агрофізичних характеристик коренеплодів і ґрунтово-кліматичних умов збирання.

Метою роботи є підвищення технологічної ефективності збирання коренеплодів шляхом розробки адаптованих транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин та оптимізації параметрів технологічного процесу збирання коренеплодів.

Завдання дослідження – вирішення важливої науково-технічної проблеми, яке полягає у розробці аналітично-емпіричних методів оптимізації параметрів і режимів роботи адаптованої коренезбиральної машини з врахуванням реальних умов експлуатації, зокрема агрофізичних характеристик коренеплодів і умов збирання.

На основі ідентифікації відомих у літературі теоретичних і експериментальних досліджень технологічних процесів збирання коренеплодів вирішення даної проблеми зведено до розв'язку таких фундаментальних та прикладних задач:

1. Розробка класифікації коренезбиральних машин, базових транспортно-технологічних систем викопувальних і очисних робочих органів за комплексними критеріями класифікації.

2. Розробка наукової концепції та алгоритму побудови адаптованих коренезбиральних машин на основі обґрунтування структурних моделей адаптованих комбінованих робочих органів і формулювання методологічних особливостей конструктивно-технологічних ознак їх застосування.

3. Розробка методу побудови детермінованих математичних моделей інтенсифікації процесу відокремлення домішок від вороху коренеплодів комбінованими робочими органами транспортно-технологічних систем адаптованої коренезбиральної машини.

4. Розробка детермінованих математичних моделей оптимізації параметрів і режимів технологічного процесу викопування та очищення вороху коренеплодів від домішок адаптованими комбінованими робочими органами на основі дослідження процесів переміщення вороху коренеплодів по їх робочих поверхнях і закономірностей функціонування динамічної системи «грунт-робочий орган-коренеплід».

5. Встановлення функціональних зв'язків маси коренеплодів і маси налиплого ґрунту на поверхні тіла формалізованих форм коренеплодів.

6. Експериментальне встановлення відповідності та адекватності числової реалізації розроблених математичних моделей.

7. Розроблення методики інженерного розрахунку раціональних параметрів і режимів роботи викопувального та очисного комбінованих робочих органів адаптованої коренезбиральної машини.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ АДАПТОВАНИХ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

2.1. Наукова концепція, принципи розробки та застосування адаптованих коренезбиральних машин

Таким чином, проведений аналіз вітчизняних і зарубіжних літературних джерел, присвячених дослідженню теоретично-експериментальних аспектів розробки і функціонування робочих органів ТТС і АКМ у цілому вказав на недостатність розроблених математичних моделей, які регламентують та описують оптимізаційний аналіз і розрахунок АВТОКРО, АТОКРО та АКМ загалом.

Вирішення важливої науково-технічної проблеми полягає у розробці аналітично-емпіричних методів оптимізації технологічних, конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи АКМ з врахуванням реальних умов експлуатації, зокрема агрофізичних характеристик коренеплодів і ґрунтово-кліматичних умов збирання.

Метою досліджень є підвищення технологічної ефективності збирання коренеплодів шляхом розробки адаптованих транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин та оптимізації параметрів технологічного процесу збирання коренеплодів.

Підвищення технологічної ефективності збирання коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М зведено до розв'язку фундаментальних і прикладних задач, наведених у першому розділі монографії на основі результатів проведеного аналізу відомих досліджень технологічних процесів збирання коренеплодів.

Через обмежену кількість математичних моделей та неможливість їх застосування в повній мірі, а за низькою важливих наукових проблем через недостатність математичного моделювання критеріїв оптимізації технологічної ефективності процесів викопування та очищення коренеплодів і розрахунку масових характеристик коренеплодів, виникла необхідність у їх розробці.

Проведені наукові дослідження, які регламентують розробку наукової концепції та алгоритму розрахунку робочих органів основних ТТС і побудови адаптованих КМ частково ґрунтуються на методах і принципах, викладених у наукових працях В.М. Булгакова, П.М. Василенка, Д.Г. Войтюка, Б.М. Гевка, Р.Б. Гевка, В.Г. Герасимчика, І.В. Головача, А.Ф. Завгороднього, О.В. Козаченка, Л.В. Погорілого, Р.М. Рогатинського, І.Ф. Савченка, М.М. Хелемендика, Б.П. Шабельника, В.А. Хвостова, та інших.

За основу розробки використанні положення, які характеризують суть наведених в них базисних статично-кінематичних і динамічних елементів розробки та функціонування технологічних процесів збирання коренеплодів – викопування та очищення викопаного ВК від домішок [1-5, 7, 11, 14, 17-19, 26, 27, 56, 57, 68-76, 92, 94, 96, 138-152] та ймовірну однозначність розмірно-масових характеристик і просторових форм коренеплодів та подібності їх агробіологічних умов розташування в ґрунтово-коренеплідному середовищі [24, 36, 44, 50, 79, 80, 88, 157].

Формалізацію просторових форм коренеплодів було виконано на основі проведеного аналізу їх агрофізичних характеристик. При розрахунку масових характеристик коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М, тобто встановлені основних закономірностей зміни ймовірної маси формалізованих просторових форм коренеплодів і очікуваної маси налиплого ґрунту на їх поверхнях залежно від параметрів коренеплодів, використовували основні положення аналітичної просторової геометрії та інтегрального числення. При цьому враховували особливості ґрунтово-коренеплідного середовища.

Роботи, в яких розглядаються питання побудови математичних моделей оптимізації параметрів викопувально-очисних комбінованих робочих органів на основі розгляду закономірностей встановлення технологічної ефективності процесів викопування ВК та очищення коренеплодів від вільних домішок із одночасним видаленням залишків гички на їх головках і відокремленням налиплого ґрунту на їх поверхнях, практично відсутні. При розрахунках масових секундних подач складових компонентів домішок ВК під час викопу-

вання коренеплодів адаптованим комбінованим робочим органом частково використовувались результати наукових робіт В.М. Булгакова, В.В. Брея, Р.Б. Гевка, О. П. Гурченка, Г.В. Корнієва, В.Я. Мартиненка, Л.В. Погорілого, М.Л. Погорілого, М.М. Хелемендика, Г.А. Хайліса, [1, 10, 58, 83, 95, 92, 130, 197, 198]. За основу розрахунків були прийняті результати досліджень, які наведено в [130, 197] з подальшим застосуванням методів теорії аналітичної геометрії та інтегрального числення. Об'єкт дослідження розглядався у вигляді формалізованої інтегральної системи «грунт-АВТОКРО-формалізований коренеплід», ґрунтовні дослідження якої майже відсутні в аспекті розгляду процесу інтенсифікованого викопування коренеплодів.

При вирішенні цієї проблеми частково використовувалися результати наукових праць В.М. Булгакова, І.В. Головача, Д.Г. Войтюка [180, 197], на основі теорії класичної механіки: кінематики та динаміки твердого тіла [199, 200], коли площа удару очисної лопаті знаходиться під деяким кутом до осі рядка коренеплодів [130, 197]. Частково процес видалення гички з головок коренеплодів було розглянуто на основі складання диференціальних рівнянь матеріального балансу та обґрунтування коефіцієнта підсилення, застосувавши при цьому перетворення Лапласа [201], де очисну функцію лопаті розглянуто у вигляді добутку очисної функції аперіодичної ланки першого порядку з транспортним запізненням [1].

Аналіз еволюції розвитку конструктивно-компонувальних і технологічних схем КМ показує, що на сучасному етапі для збирання коренеплодів, особливо ЦБ і КБ, все більше застосовуються потужні СБК з складними багаторівневими системами очищення ВК – щорічно до 70 % площ коренеплодів у країнах ЕС збирається такими КМ, при цьому, незважаючи на складні системи викопування та очищення викопаного ВК, ВРО подають із викопаними коренеплодами на наступні ТТС значну масову кількість ґрунтових домішок (до 100...150 т з одного га), а з полів вивозиться кількість ґрунту, яка еквівалентна 10 см орного шару із площі рівній 100 га [1, 7, 11, 13, 46].

Щоб створити техніку, яка б забезпечила одночасне збирання різних видів коренеплодів, таких як ЦБ, КБ, СБ і М, однією АКМ необхідно мати чітке

уявлення про параметри результату та її діяльності. Ці параметри повинні бути науково погоджені з вимогами до середовища об'єкту збирання, вимогами до технологічних операцій, які впливають на дане середовище та вимогами до КМ і їх робочих органів, які виконують ці технологічні операції [12, 64, 69, 83, 86, 98, 118, 202, 204].

Значне підвищення ефективності господарювання багатогалузевих фермерських господарств може досягатися не тільки економічним аналізом прибутку, а й передусім такими показниками як: визначення гнучкості використання однієї АКМ відносно збирання різних культур коренеплодів в умовах різних ґрунтових фонів, різних агрофізичних характеристик коренеплодів тощо; циклічності необхідних строків виконання робіт відносно погодно-кліматичних умов, організаційних заходів тощо; сумісності з попередніми технологічними операціями та технічними системами виробництва культури, наприклад, як засоби для обробітку ґрунту, посіву, догляду, ширина міжрядь, урожайність коренеплодів тощо [6, 67, 205].

Використання АКМ, конструктивно-компонувальні схеми яких побудовано на основі застосування адаптованих ВРО і ОРО, значно розширить терміни роботи АКМ на протязі року шляхом збирання коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М однією АКМ при стабільних агротехнічних показниках якості роботи, що призведе до зростання техніко-економічної ефективності виробництва коренеплодів загалом.

Перший етап розробки наукової концепції адаптованого застосування КМ для збирання коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М повинен базуватися на проведенні систематизації існуючих КМ з їх подальшою таксономією за визначеними критеріями класифікації, що дозволить провести ідентифікацію конструктивних схем КМ і технологічних процесів збирання коренеплодів [13].

Класифікацію сучасних КМ, які знайшли переважне застосування для збирання коренеплодів наведено на рис. 2.1 [13].

На рис. 2.2, 2.3, відповідно, наведено загальний вигляд і конструктивно-технологічні схеми сучасних КМ у аспекті побудованої класифікації, яку наведено на рис. 2.1.

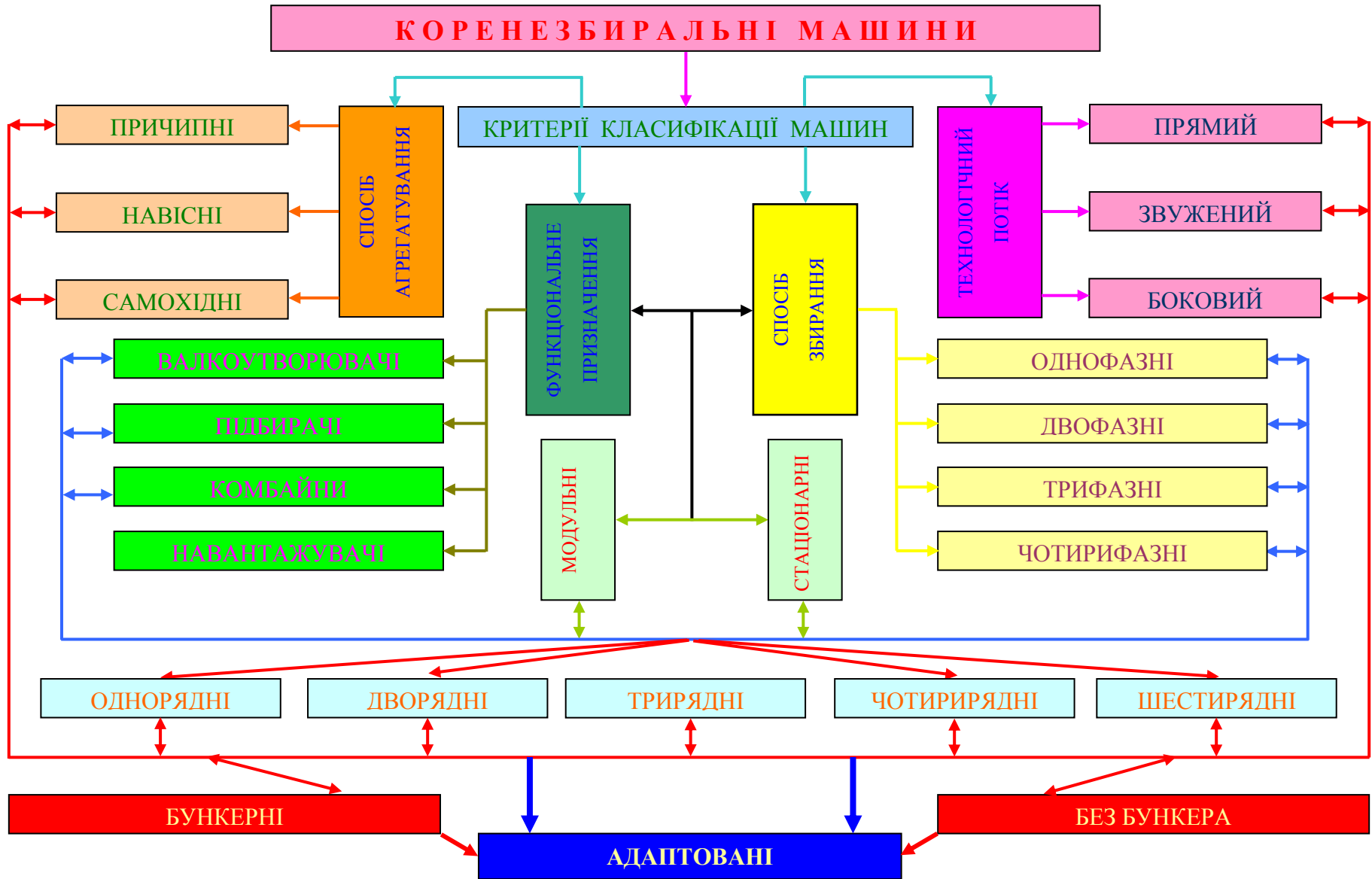


Рис. 2.1. Класифікація коренезбиральних машин

КОРЕНЕЗБИРАЛЬНІ МАШИНИ



КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

СПОСІБ АГРЕГАТУВАННЯ

ПРИЧІПНІ



НАВІСНІ



САМОХІДНІ



СПОСІБ ЗБИРАННЯ

ОДНОФАЗНІ



ДВОФАЗНІ



ТРИФАЗНІ



ЧОТИРИФАЗНІ



ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ

ВАЛКОУТВОРЮВАЧІ



ПІДБИРАЧІ



КОМБАЙНИ



НАВАНТАЖУВАЧІ



ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПОТІК

ПРЯМИЙ



ЗВУЖЕНИЙ



БОКОВИЙ



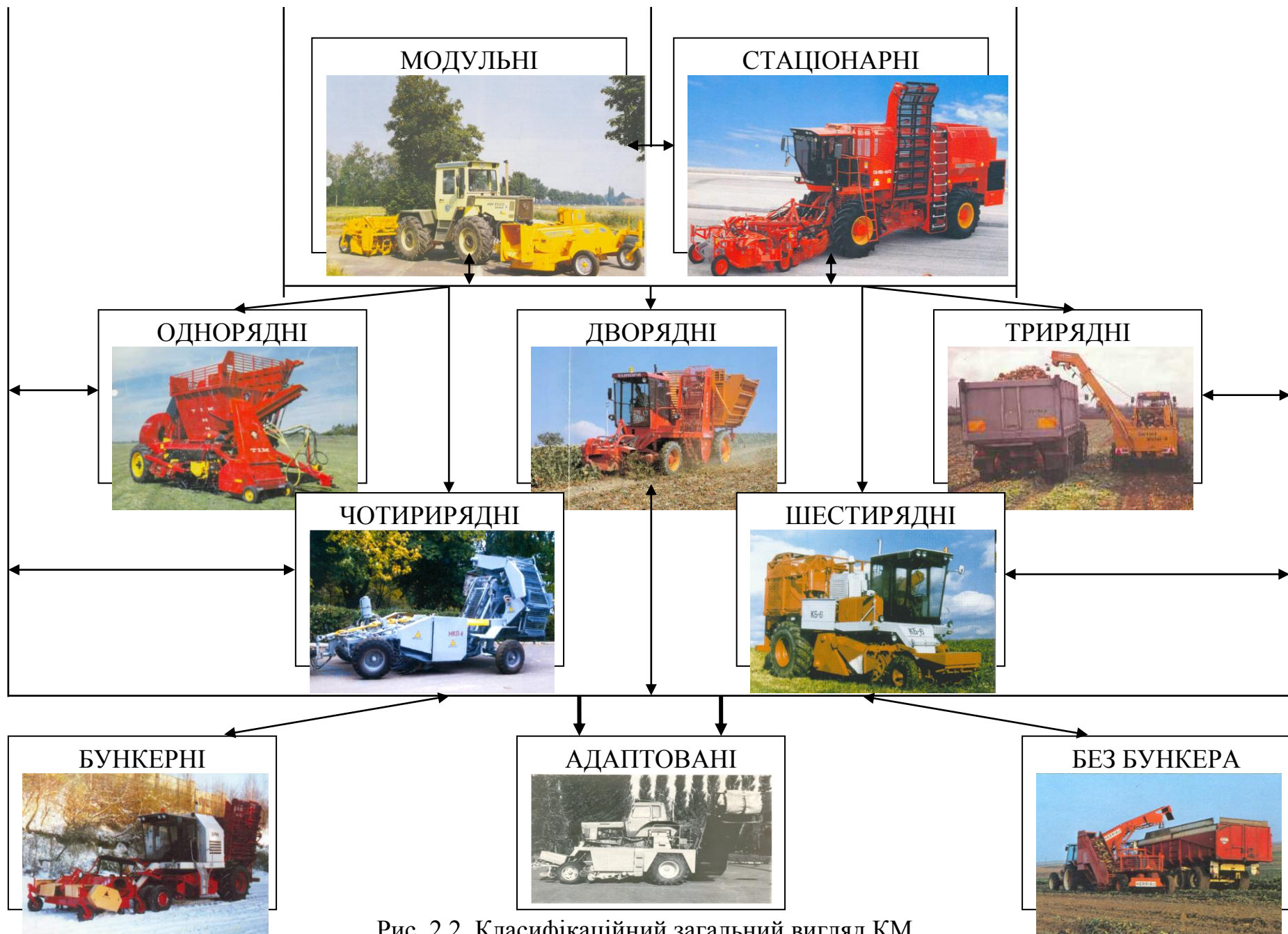
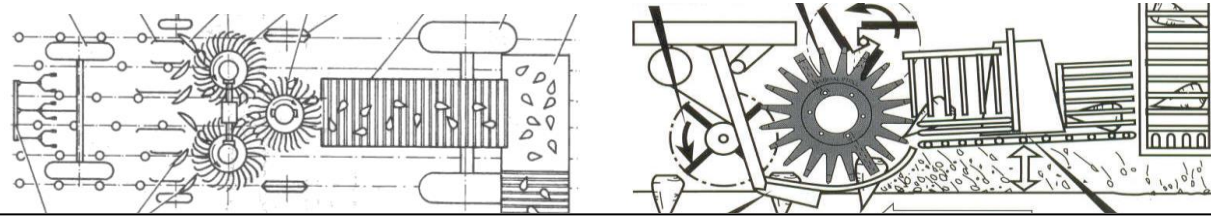


Рис. 2.2. Класифікаційний загальний вигляд КМ

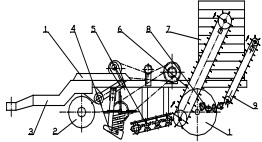
КОРЕНЕЗБИРАЛЬНІ МАШИНИ



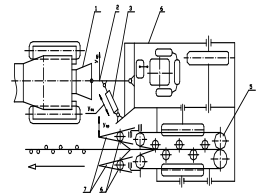
КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

СПОСІБ АГРЕГАТУВАННЯ

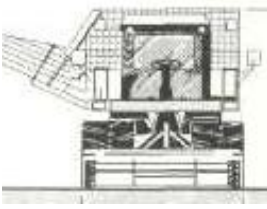
ПРИЧІПНІ



НАВІСНІ

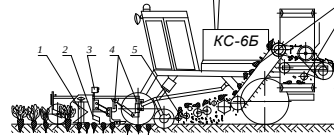


САМОХІДНІ



СПОСІБ ЗБИРАННЯ

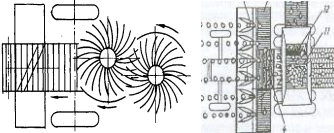
ОДНОФАЗНІ



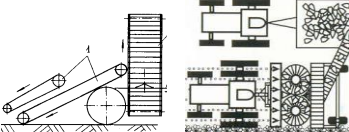
ДВОФАЗНІ



ТРИФАЗНІ

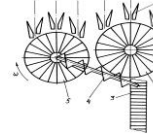


ЧОТИРИФАЗНІ

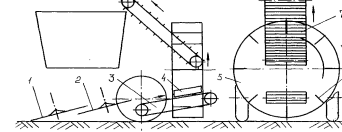


ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ

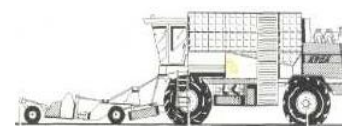
ВАЛКОУТВОРЮВАЧІ



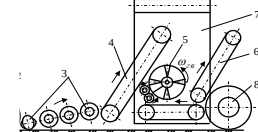
ПІДБИРАЧІ



КОМБАЙНИ

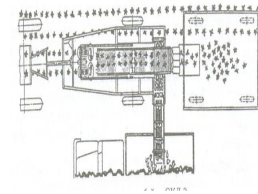


НАВАНТАЖУВАЧІ

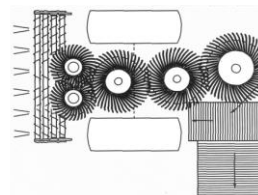


ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПОТІК

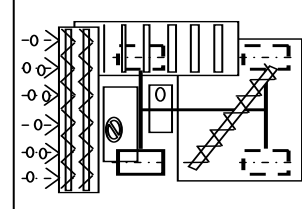
ПРЯМИЙ



ЗВУЖЕНИЙ



БОКОВИЙ



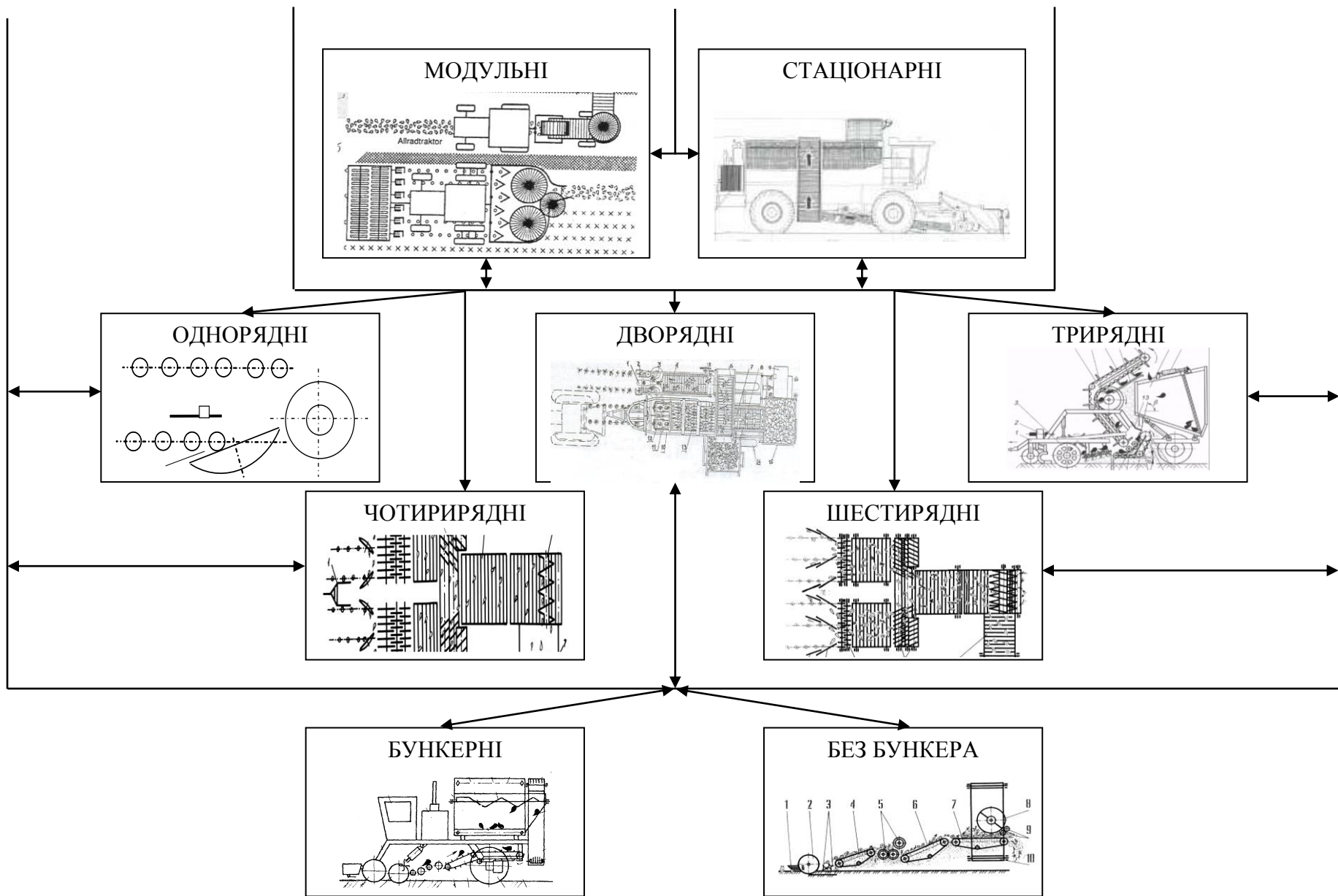


Рис. 2.3. Класифікаційні конструктивно-компонувальні схеми КМ

У зв'язку з великою різноманітністю конструктивно-компонувальних схем і технологічного призначення КМ, за основу побудови наведеної класифікаційної схеми були прийняті чотири головні критерії систематизації – номенклатура КМ за функціональним призначенням, способом збирання коренеплодів, способом агрегування і напрямком технологічного потоку викопаного ВК.

У сукупності встановлені критерії, для побудови класифікації КМ, було покладено вперше.

За функціональним призначенням розрізняють наступні типи КМ – валкоутворювачі (копачі-валкоутворювачі, які підкопують коренеплоди з 3-х, 4-х, 6-и і 12-и рядків, а потім укладають викопані коренеплоди у повздовжній валок на зібране поле), підбирачі (підбирачі валків, які підбирають укладені валкоутворювачами коренеплоди з валка і завантажують їх у транспортні засоби, що рухаються поруч з підбирачем), комбайни (для одно-, дво- та трифазного способу збирання), очисники-навантажувачі (навантажувачі коренеплодів великої продуктивності, які очищують коренеплодів від домішок і завантажують зібрані коренеплоди з кагатів висотою до 2...3-х м.

Залежно від наявності в господарстві типажу КМ можуть застосовувати однофазний і роздільні двофазний, трифазний або чотирифазний способи збирання коренеплодів [206, 207].

За способом збирання коренеплодів КМ поділяють на однофазні, двофазні, трифазні та чотирифазні, відповідно коли всі стадії збирання коренеплодів, залежно від застосованої технології збирання, виконуються однією, двома, трьома або чотирма типами збиральних машин.

При однофазному способі збирання коренеплодів за один прохід збирального агрегату виконуються всі технологічні операції: зрізування гички з наступним завантаженням її в транспортний засіб або розкидання по зібраному полю; доочищення або дообрізка залишків гички з головок коренеплодів; викопування коренеплодів, очищення викопаного ВК від домішок із наступним завантаженням коренеплодів у транспортний засіб, що рухається поруч з збиральною машиною, або в бункер СБК.

Третя технологічна операція може бути поділена на дві підоперації, які виконуються в складі однієї збиральної машини: викопування коренеплодів, попереднє очищення викопаного ВК від домішок із наступним формуванням валка викопаних коренеплодів; підбирання утвореного валка коренеплодів, кінцеве доочищення ВК від домішок із наступним завантаженням коренеплодів у транспортний засіб, що рухається поруч з машиною, або в бункер СБК.

Для реалізації однофазного способу збирання, як правило СБК, наприклад SF-10(20) (фірма “Кляйне”, Німеччина), КСБ-6 “Збруч” (ВАТ “ТеКЗ”, Україна), SR 1800(2500) (фірма “Тім”, Данія), “Моро” (Франція) тощо (додаток Б.1.1).

Двофазний спосіб збирання коренеплодів включає дві окремо роздільні стадії технологічного процесу збирання коренеплодів.

Перша стадія, яка має дві взаємопов’язані операції, що реалізуються однією машиною: зрізування гички коренеплодів із наступним завантаженням її в транспортний засіб або розкиданням на зібране поле, яка виконується комплексами причіпних гичкозбиральних машин (МТЗ 80/82+БМ-6А; МТЗ 80/82+МБП-6; МТЗ 80/82+МБК-2,7; МТЗ 80/82+МГР-6; МТЗ 80/82+МГШ-6, Україна або самохідними гичкозбиральними машинами провідних фірм світу); доочищення або дообрізки залишків гички з головок коренеплодів.

Друга стадія: викопування коренеплодів, очищення викопаного ВК від ґрунтових і рослинних домішок, завантаження коренеплодів у транспортний засіб або бункер СБК, яка виконується різними модифікаціями самохідних машин типу МКК-6, РКМ-6, КС-6Б, КБ-6 та причіпних коренезбиральних комплексів МТЗ 80/82+КНБ-6; МТЗ 80/82+МКП-6, Україна тощо).

Перша стадія окрім збирання гички може включати в собі ще і викопування коренеплодів, попереднє очищення викопаного ВК від домішок із наступним формуванням валка викопаних коренеплодів. Тоді на другій стадії збирання виконують тільки підбирання утвореного валка коренеплодів, остаточне очищення ВК від домішок із наступним завантаженням коренеплодів в транспортний засіб. Даний спосіб реалізується комплексами причіпних машин німецької фірми “Кляйне”: KR-6-II+L6 (гичкозбиральна машина з копачом-

валкоутворювачем KR-6-II і підбирач валків L-6), або K-6-II+R6 + L-6 (одночасно на передній та задній начіпках трактора начеплені гичкозбиральна машина K-6-II та копач-валкоутворювач KR-6).

Трифазний спосіб збирання коренеплодів включає в собі такі три стадії збирання.

Перша стадія (комплекс машин МТЗ 80/82+БМ-6А без доочисника головок коренеплодів на корені; МТЗ 80/82+МБК-2,7; МТЗ 80/82+МБП-6; МТЗ 80/82+МГР-6; МТЗ 80/82+МГШ-6): зрізування основного масиву гички із головок коренеплодів із наступним завантаженням її в транспортний засіб або розкиданням на зібране поле.

Друга стадія (комплекс машин МТЗ 80/82+ОГД-6): доочищення головок коренеплодів від залишків гички.

Третя стадія (модифікації машин МКК-6, РКМ-6, КС-6Б, КБ-6 та причіпні КМ КНБ-6, МКП-6, тобто МТЗ 80/82+КНБ-6; МТЗ 80/82+МКП-6): викопування коренеплодів, очищення викопаного ВК від ґрунтових і рослинних домішок, завантаження коренеплодів у транспортний засіб або бункер СБК.

Трифазний спосіб збирання коренеплодів також може бути реалізований поєднанням першої і другої стадії в одну та подальшим виконанням третьої стадії в два етапи: перший – викопування коренеплодів і формування валка, другий – підбирання валка з завантаженням коренеплодів в транспортний засіб (причіпний комплекс коренезбиральних машин КВЦБ-1,2+ПНБВ-1,6 (копач-валкоутворювач КВЦБ-1,2; підбирач-навантажувач ПНБВ-1,6, АТ „Борекс”, Україна; комплекс начіпних машин K-6-II+R6 + L-6, “Kleine”, Німеччина).

Чотирифазний спосіб збирання коренеплодів застосовують при несприятливих умовах збирання, або великої забур’яненості посівів коренеплодів, тобто коли збиральні машини не в змозі досягти агротехнічних вимог за загальною кількістю домішок в зібраному ВК. Чотирифазний спосіб включає три стадії трифазного способу збирання з застосуванням четвертої фази – завантаження коренеплодів з утворених кагатів самохідними навантажувачами-очисниками (СПС-4,2 А, ДКЗ, Україна; RL 200, “Kleine”, Німеччина).

Однофазний спосіб збирання коренеплодів має суттєві переваги перед всіма останніми за рахунок меншої кількості проходів збиральних машин і відповідно меншого ущільнення ґрунту. Але застосування СБК доцільне на площах збирання більше 200...250 га та врожайності коренеплодів більше 250 ц/га, тобто при мінімальному часі заповнення бункера машини, або мінімальних витратах енергетичної потужності двигуна на самопереміщення за час заповнення бункера коренеплодами.

Використання причіпних машин для дво- та трифазних способів збирання коренеплодів раціональне в умовах підвищеної вологості ґрунту та на площах до 200 га. Завдяки просушуванню утвореного валка зменшується загальна кількість ґрунту в ВК і кількість родючого шару ґрунту вивезеного з поля. Але довготривале (понад 3...5 год) просушування валка коренеплодів призводить до значних втрат цукристості, сухих речовин, споживчих якостей тощо [1].

За способом агрегатування КМ бувають навісні (як правило, при валковій технології збирання коренеплодів і модульному принципі побудови технологічної схеми КМ), причіпні та самохідні.

За напрямком руху технологічного потоку викопаного ВК можна виділити основні два типи конструктивних схем КМ – машини прямоточні, коли весь завершений цикл транспортування і обробки потоку викопаного ВК відбувається без початкової зміни його напрямку руху та машини з змінним напрямком руху потоку ВК.

В основу вирішення науково-технічної проблеми підвищення техніко-експлуатаційних і агротехнологічних показників якості роботи АКМ покладено гіпотезу про можливість значного розширення діапазону і строків застосування машин для збирання коренеплодів шляхом оптимізації параметрів і загальних конструктивно-технологічних принципів і аспектів використання АКМ, побудованих на основі розробки та дослідження її адаптованих комбінованих робочих органів базових ТТС [13, 15, 77, 78, 193, 208, 209].

Розробка алгоритму побудови конструктивно-компонувальної схеми АКМ повинна базуватися на застосуванні в її функціональній схемі основних

адаптованих ТТС – АВТОКРО та АТОКРО, які являють собою моноблочні викопувальні та очисні базові ТТС комбінованих ВРО і ОРО, принципи функціонування яких регламентовані загальними властивостями технологічного процесу роботи адаптерів багатофункціонального (у деякій мірі універсального) типу, їх призначенням та способами застосування під час збирання коренеплодів [13, 179, 208, 209].

Передумовами прогнозування ефективної розробки та побудови АКМ повинні бути: системний підхід до визначення класифікаційних ознак конструктивно-функціональних критеріїв поділу КМ, ВРО і ОРО базових ТТС; механіко-технологічні основи розробки процесів адаптованого застосування машини для збирання коренеплодів на основі загальних принципів оптимізації використання машинно-тракторних агрегатів у цілому та відповідних робочих органів ТТС КМ; розробка методологічних принципів побудови моноблочних конструктивних схем адаптованих машин для збирання коренеплодів на основі використання мобільного енергетичного засобу; розробка технологічних схем, способів побудови робочих органів базових ТТС і АКМ у цілому з їх обґрунтованими раціональними параметрами та режимами роботи на основі аналізу агрофізичних і фізико-технологічних властивостей коренеплодів і реологічних властивостей функціонування системи «грунт-робочий орган-коренеплід»; розробка компоновальних схем розташування системи адаптованих робочих органів у технологічному процесі роботи АКМ на основі оптимальної технологічності їх функціонування та забезпечення відповідних показників якості роботи АКМ [179, 208].

Шляхами вирішення прогнозованої ефективності використання АКМ повинні бути: конструктивно-кінематичні аспекти адаптації робочих органів базових ТТС КМ на основі розробки системи АВТОКРО, АТОКРО; агротехнологічні характеристики та властивості коренеплодів, як перспектива розробки системи адаптованих робочих органів базових ТТС АКМ – аналіз розмірно-масових характеристик коренеплодів і технологічний аналіз робочих процесів викопування, очищення та завантаження коренеплодів [77, 78].

Класифікаційні ознаки (признаки) можливого прогнозування адаптова-

ного застосування системи робочих органів ТТС АКМ, або алгоритм розробки АКМ наведено в структурній схемі (рис. 2.4), яку побудовано на основі аналізу основних конструктивно-кінематичних і кінематично-динамічних факторів та які в загальному випадку регламентують оптимізаційні структурно-складові показники технологічних процесів збирання коренеплодів.

Розробка, або алгоритм побудови конструктивно-компонувальної схеми АКМ повинен базуватися на застосуванні в її функціональній схемі основних адаптованих ТТС – АВТОКРО та АТОКРО, які являють собою моноблочні викопувальні та очисні базові ТТС комбінованих ВРО і ОРО, принципи функціонування яких ґрунтуються на загальних властивостях технологічного процесу роботи адаптерів багатофункціонального (в деякій мірі універсального) типу, їх призначення та способів застосування під час збирання коренеплодів.

Різноманітність конструктивних схем ВРО і ОРО КМ у прямій залежності тісно пов'язана, як із технологічними процесами збирання, так і з конструктивно-технологічними вимогами до показників якості збирання різних культур коренеплодів, основними із яких є показники якості викопування і очищення коренеплодів від домішок [1].

Критеріями обґрунтування адаптивних ВРО і ОРО повинні бути покладені загальні основні принципи оптимізаційних властивостей подібності агрофізичних характеристик коренеплодів і раціонального функціонування технологічного процесу викопування та очищення коренеплодів від домішок, а також основні технологічні аспекти можливої адаптації сільськогосподарських машин [45, 64, 77, 78, 86, 137, 160].

Класифікацію ВРО КМ наведено на рис. 2.5 [77]. На рис. 2.6 наведено класифікаційний загальний вигляд ВРО, а на рис. 2.7 – класифікаційні конструктивно-компонувальні схеми ВРО.

У зв'язку з великою різноманітністю конструктивно-компонувальних схем і технологічного призначення ВРО, за основу побудови наведеної класифікаційної схеми були прийняті три головні критерії класифікації – класифікація ВРО за формою робочого органу, способом викопування і видом приводу.

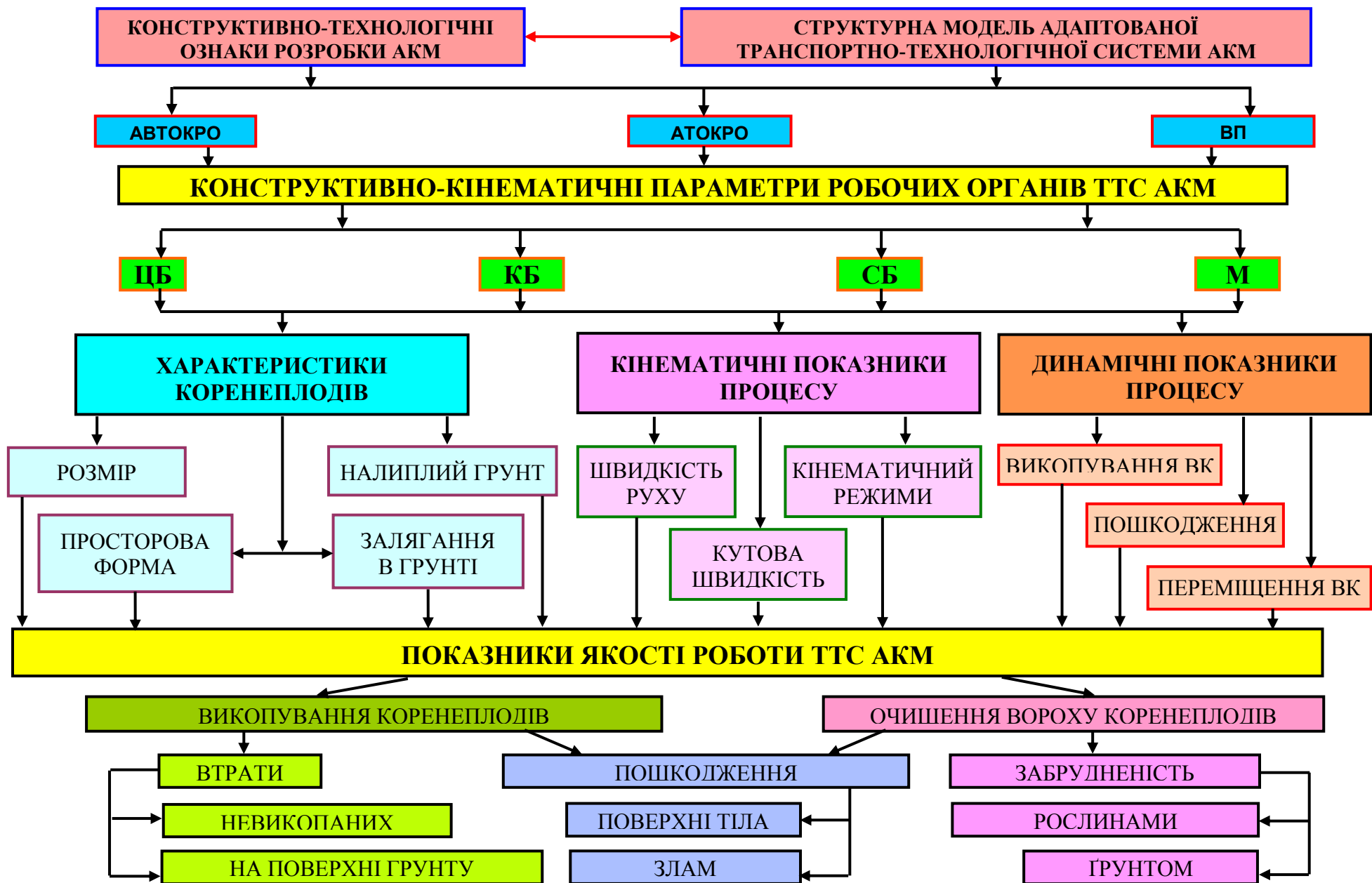


Рис. 2.4. Алгоритм розробки АКМ

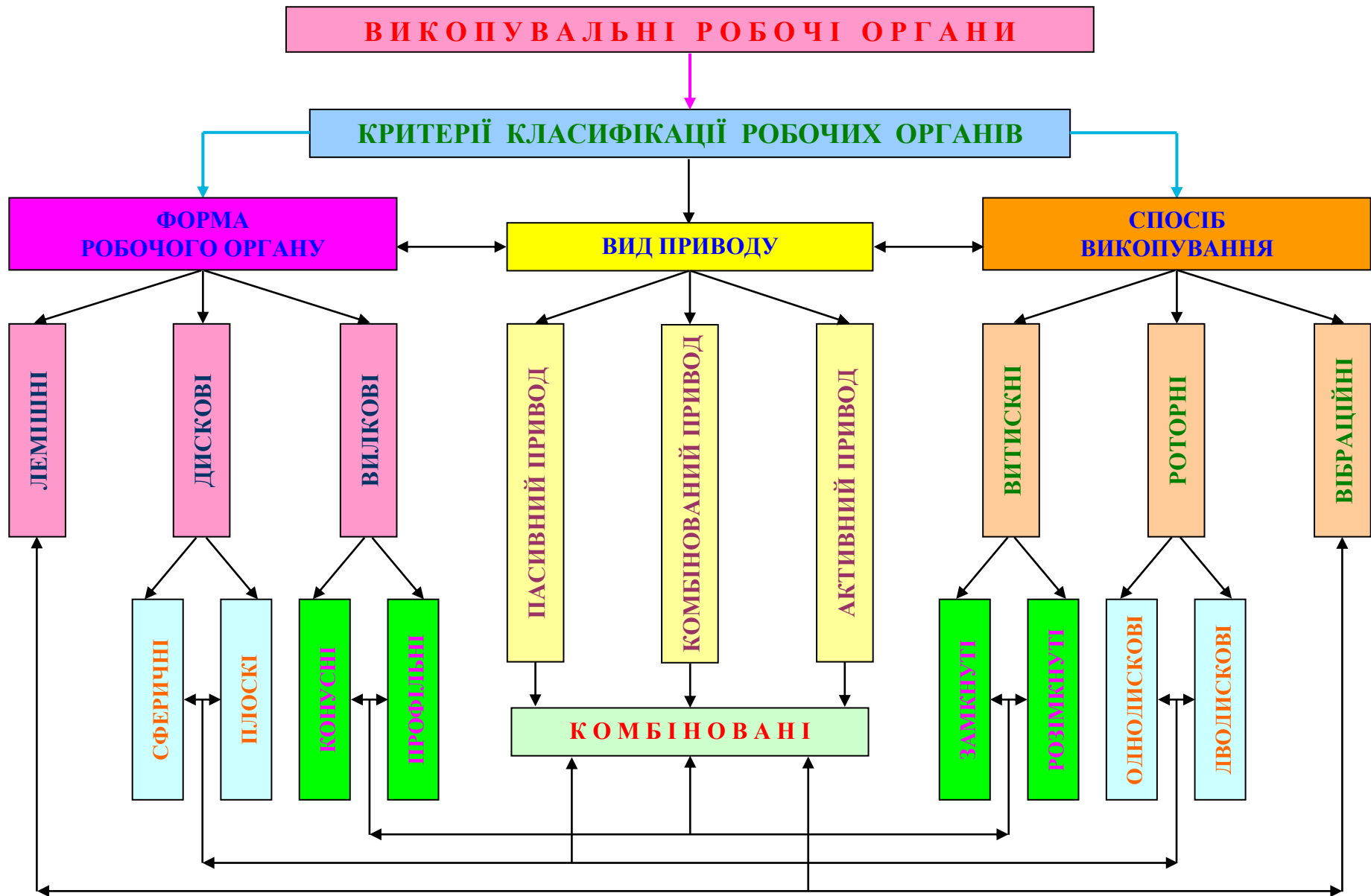
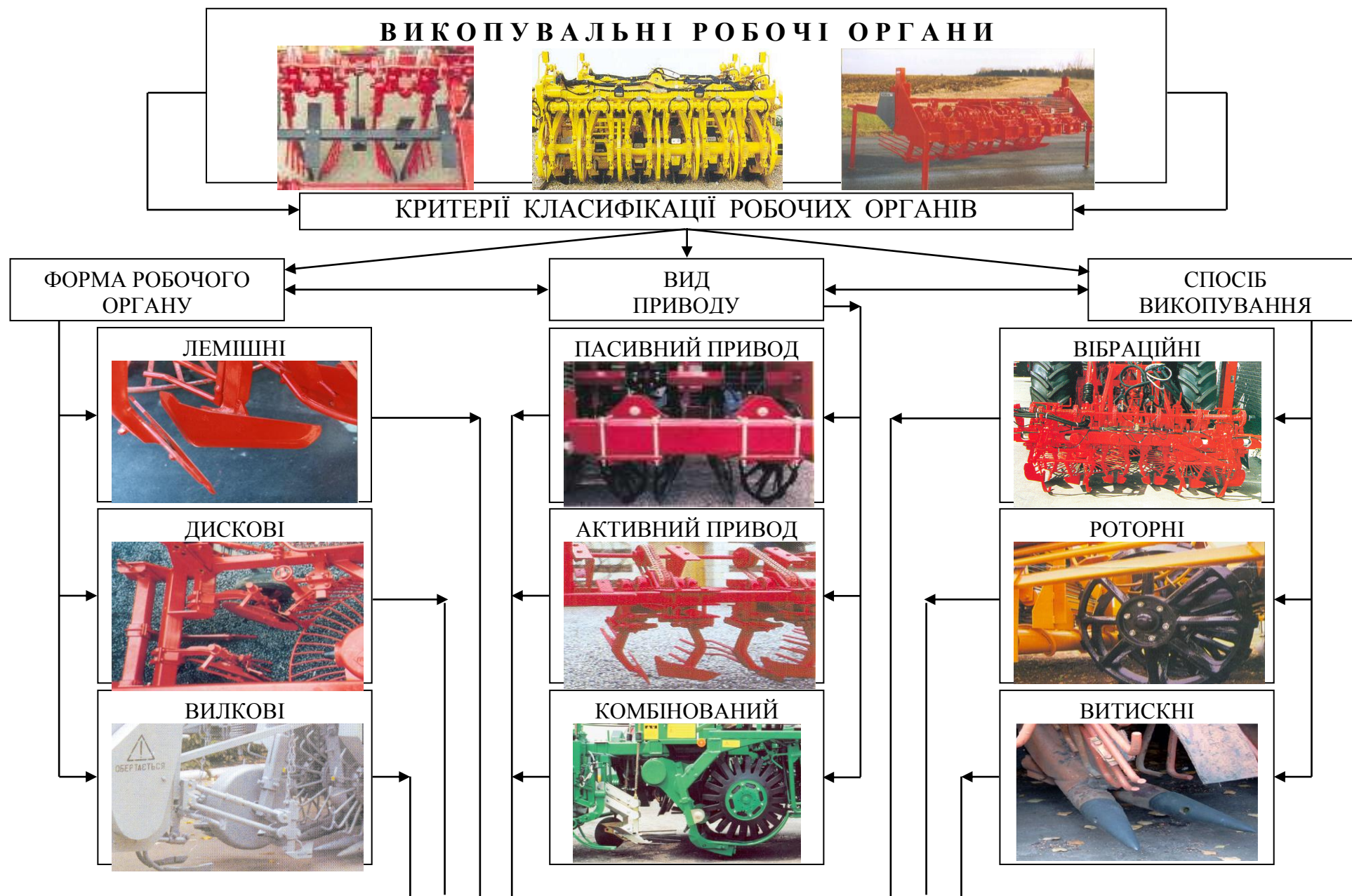
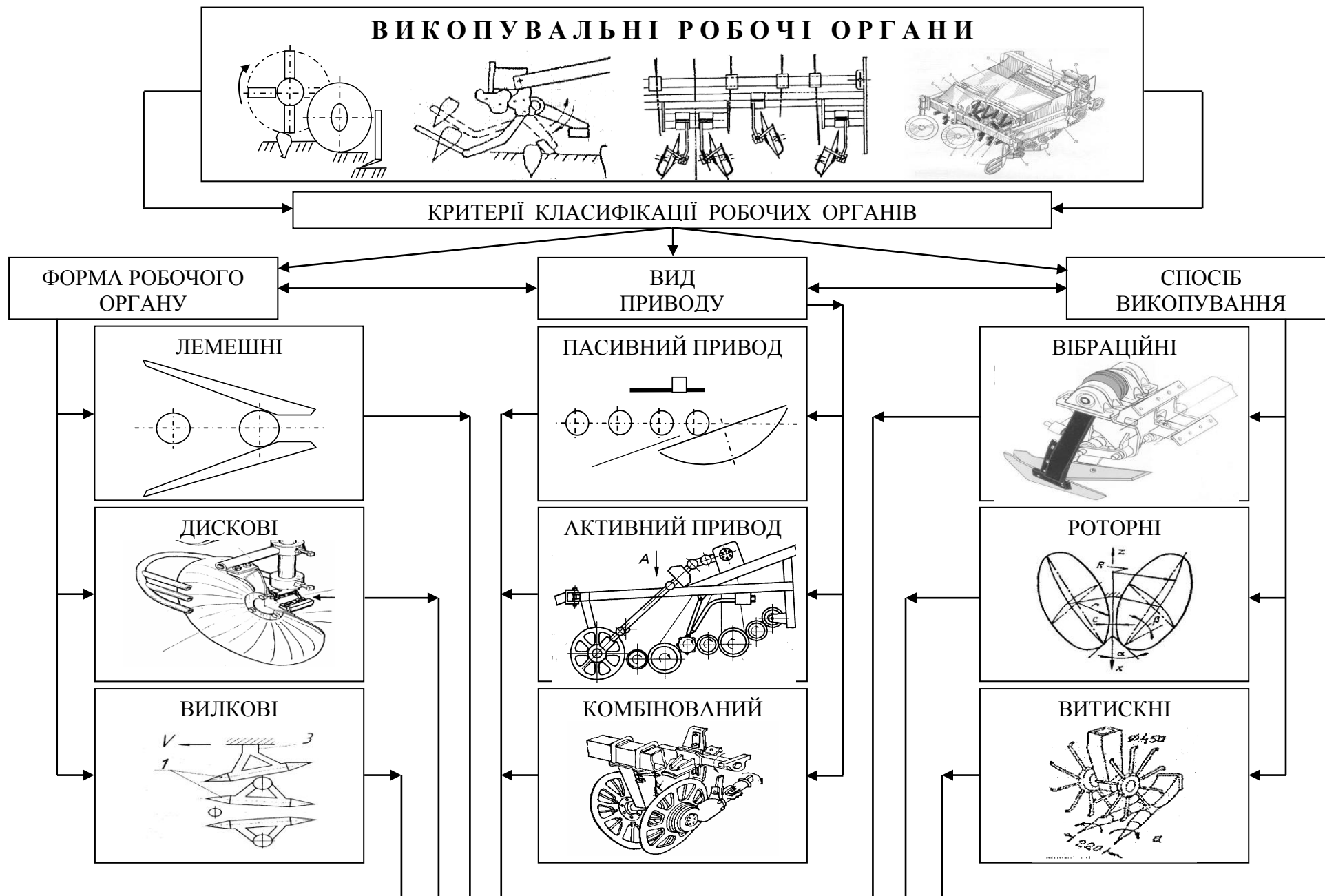


Рис. 2.5. Класифікація викопувальних робочих органів КМ





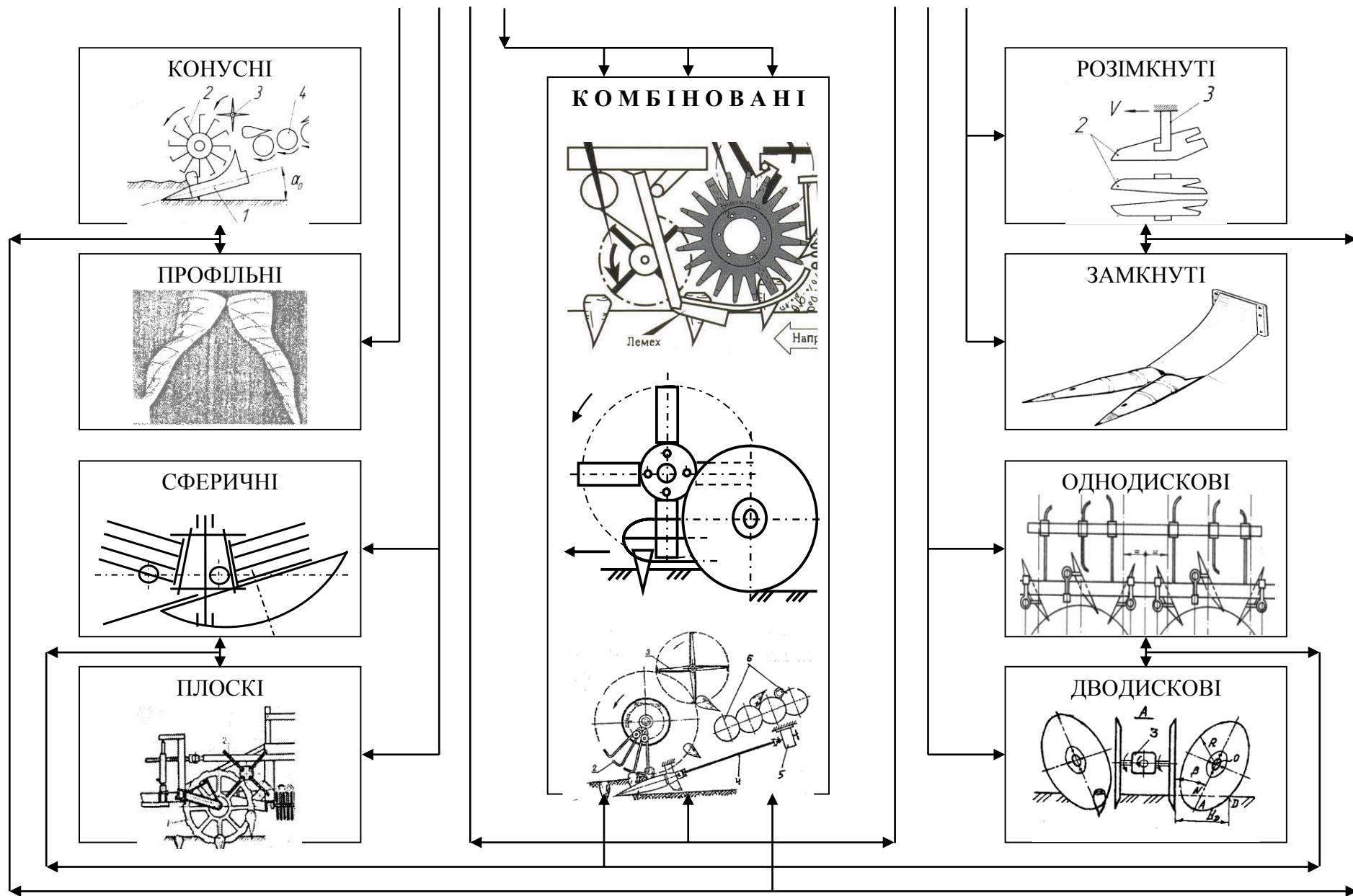


Рис. 2.7. Класифікаційні конструктивно-компонувальні схеми ВРО

У сукупності дані критерії для побудови класифікації ВРО КМ було покладено вперше.

За формою робочого органу розрізняють такі ВРО: лемішні (пасивні або з активним приводом лемешів); дискові (сферичні або плоскі), які можуть мати один або два диски із комбінованими варіантами обертання кожного диска; вилкові, які мають дві замкнуті або розімкнуті вилки конусного або профільного типу (за складністю виготовлення – не застосовуються).

За способом викопування коренеплодів ВРО поділяють на витискні, які працюють за принципом витискування коренеплодів із ґрунту пасивними або активними лемішками та активними вилками конусного або профільного типу за рахунок зустрічного обертання двох вилок; роторні, які викопують коренеплоди за рахунок однакових або різних кутових швидкостей обертання кожного диска; вібраційні, які витягують коренеплоди за рахунок періодичних вібраційних коливань кожного з лемешів.

За видом приводу робочих органів ВРО можуть мати пасивний, активний або комбінований привод, при цьому, відповідно, робочі органи приводяться в рух за рахунок зчеплення з ґрунтом, примусового кінематичного приводу робочих органів або одна частина робочого органу приводиться в рух за рахунок зчеплення з ґрунтом, а друга – за рахунок примусового кінематичного приводу.

Загальні принципові недоліки роботи існуючих і технічно реалізованих типів ВРО (лемішних, вилкових, дводискових, вібраційних), якими в основному обладнують навісні, причіпні та самохідні КМ, СБК наступні: відносно значна секундна подача вільного та налиплого на поверхні тіла коренеплодів ґрунту (7...10 кг/с), залишків гички на головках коренеплодів (від 0,5 до 1,5 кг/с) із одного погонного метра рядка при робочій швидкості КМ 1,6 м/с, при цьому до 70 % від загальної кількості складає маса вільного та налиплого ґрунту, до 10 % – залишків гички на головках коренеплодів, що призвело до збільшення протяжності та конструктивної складності очисних ТТС [1, 114].

Аналіз конструктивно-технологічних процесів роботи КМ показав, що об'єктивною причиною технологічної недосконалості роботи існуючих ВРО є

те, що в них конструктивно та технологічно якісно неможливо одночасно поєднати під час збирання дві технологічні операції в одну – викопування та очищення ВК із одночасним видаленням залишків гички на їх головках [208].

Пошук більш радикальних шляхів підвищення технологічної надійності роботи лемішних і вилкових копачів коренеплодів за рахунок збільшення активності їх робочих поверхонь було досягнуто за рахунок надання лемішним копачам коливних рухів, або вилковим копачам – обертального руху, що суттєво підвищило повноту викопування і інтенсивність кришення грудок.

Найбільш універсальними вважаються дводискові копачі, характерною ознакою яких є вертикальне розташування двох сферичних дисків, при цьому вертикальні осі дисків утворюють кут розвалу, а горизонтальні – кут атаки.

Дводискові викопуючі робочі органи задовільно збирають коренеплоди у широких ґрунтово-кліматичних умовах: у порівнянні з лемішними або вилковими копачами, мають більш високу ґрунтоподрібнюючу здатність; не втрачають працездатність при роботі на ділянках поля з підвищеною вологістю ґрунту та забур'яненістю посівів, мають значно більший ресурс напрацювання.

Дводискові копачі мають один суттєвий недолік – защемляють незруйновані грудки та подають їх на наступні системи машини, чим значно знижують, встанов-

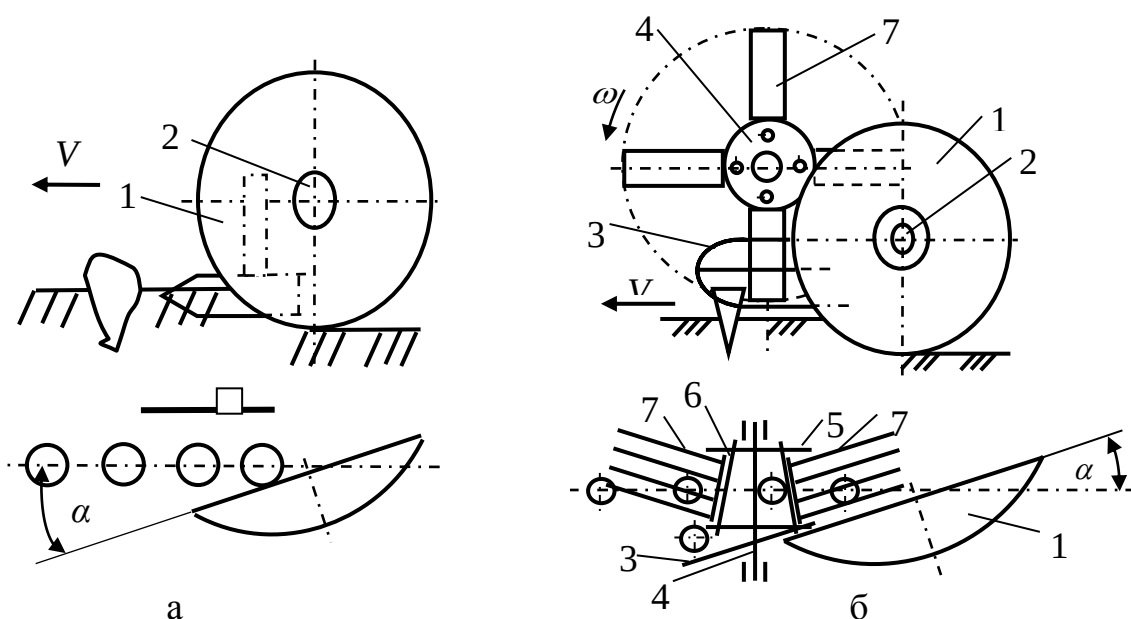


Рис. 2.8. Схеми ВРО:

а – однодискового копача; б – базового АВТОКРО

лені агротехнічними вимогами, показники якості роботи. Крім того, аналогічно до лемішних і вилкових копачів у існуючих дводискових копачах конструктивно та якісно технологічно неможливо поєднати при збиранні одночасно дві технологічні операції – викопування коренеплодів із одночасним видаленням залишків гички на їх головках, незважаючи на всі інші конструктивні недоліки:

Із всієї різновидності копачів, однодискові сферичні, або так званий «євродиск» (рис. 2.8а), мають просту конструкцію, є найменш метало- та енергомісткими порівняно з іншими типами копачів, мають широкий спектр застосування для викопування коренеплодів при задовільних показниках якості їх роботи. Вісь обертання 2 сферичного диска 1 копача утворює кут атаки α в горизонтальній площині відносно осі рядка коренеплодів [8, 209].

Суттєві недоліки їх роботи, які полягають у незадовільному заглибленні робочої кромки диска в ґрунт при пониженій вологості ґрунту, відсутності, одночасного з викопуванням коренеплодів видалення залишків гички на їх головках, можуть прогнозовано усуватися подальшим конструктивно-технологічним удосконаленням даного типу копача.

Підвищення технологічних показників і показників якості роботи існуючих копачів коренеплодів, а в загальному – всієї АКМ, вирішується застосуванням базового варіанту АВТОКРО (рис. 2.8б), або додатковим установленням у передній зоні роботи сферичного диска 1 корененапрямляча 3 та горизонтального очисного вала 4, на якому радіально закріплено фланці 5. Між фланцями по їх колу послідовно встановлено паралельні осі 6, які повернуті відносно осі очисного вала під гострим кутом. На паралельних осях шарнірно закріплені секції плоскі пружні лопаті 7. Під час руху АВТОКРО, корененапрямляч зміщує, попередньо вибиті під час зрізування гички робочими органами гичкозбиральної машини коренеплоди із рядка до його центру, а сферичний диск викопує коренеплоди. Одночасно з викопуванням коренеплодів сферичним диском, за рахунок обертання очисного вала, плоскі пружні лопаті контактують з головками коренеплодів, очищуючи їх головки від залишків гички на них за рахунок їх контактної взаємодії з залишками гички. Поворот паралельних осей на гострий

кут відносно осі очисного вала дозволяє плоским пружним лопатям наносити удари по головкам коренеплодів збоку рядка, що покращує очищення різновисоких коренеплодів, при цьому високий коренеплід не прикриває низький коренеплід від косого удару. Крім того плоскі пружні лопаті також взаємодіють ще із грудками ґрунту, при цьому відбувається руйнування грудок ґрунту та проштовхування викопаного вороху коренеплодів на наступні адаптовані ТТС, що підвищує можливості АКМ [136], додаток Б.1.1.

Під час викопування коренеплодів в умовах сухого твердого ґрунту відбувається пошкодження хвостової частини коренеплодів внаслідок їх злому за рахунок недостатньої вертикальної сили виштовхування коренеплодів, що призводить до їх значних втрат. Для усунення злому хвостової частини коренеплодів або їх втрат, сферичний диск 1 (рис. 2.9а) встановлюють під гострим кутом φ , а фланці 5 – під кутом δ до вертикальної площини, при цьому вісь 6, яка займає на фланці крайнє нижнє положення, утворює з площиною, яка проходить через лезо сферичного диска кут ε , рівний або близький 90° . Односторонній сферичний диск викопує коренеплоди шляхом підймання їх вгору за рахунок виникаючої при цьому додаткової проекції бокової сили виштовхування, яка спрямована на вертикальну площину. У момент удару плоских пружних лопатей по головці коренеплоду відбувається їх поворот навколо своїх осей і в площині удару за рахунок встановлення фланців під

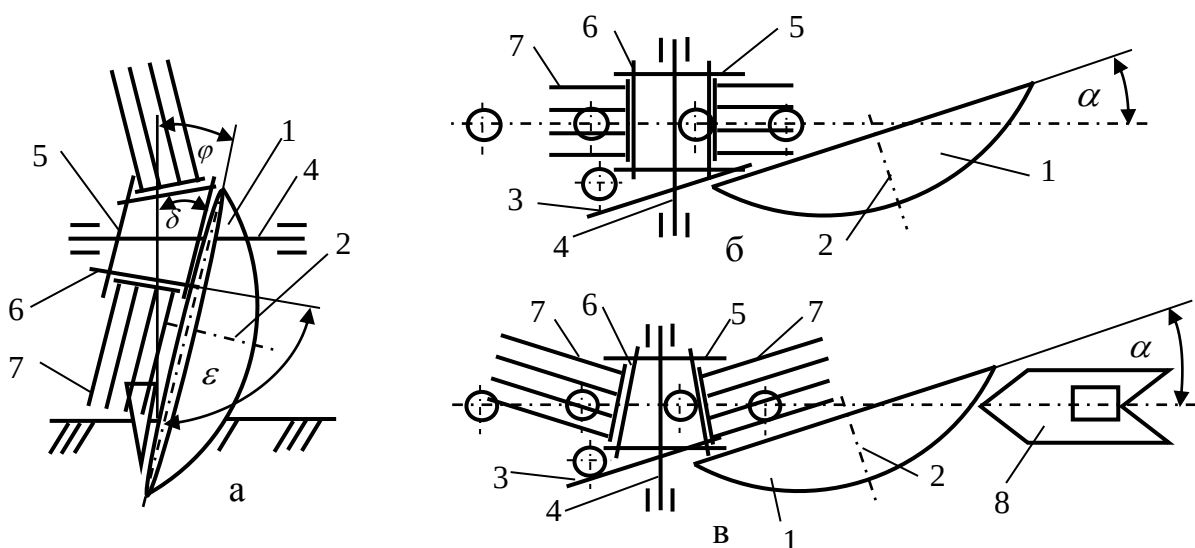


Рис 2.9. Схеми АВТОКРО

кутом φ до вертикалі та повернутими осями на кут відносно осі вала. Тому що осі в нижньому положенні перпендикулярні площині, яка проходить через лезо сферичного диска, або нахилені до неї під кутом, близьким до прямого, то плоскі пружні лопаті в нижньому положенні паралельні цій площині та не контактують з поверхнею сферичного диска, що знижує їх зношення [210], додаток Б.1.1.

Для підвищення ступеня відокремлення залишків гички з головок коренеплодів, особливо ЦБ і М та ступеня руйнування грудок ґрунту, за рахунок збільшення сили контактної взаємодії (сили прямого центрального удару) плоских пружних лопатей по головці коренеплодів і грудкам ґрунту, паралельні осі 6 (рис. 2.9б), які розміщено на фланцях 5 горизонтального очисного вала 4 та на яких закріплено плоскі пружні лопаті 7, встановлюють паралельно осі обертання очисного вала. Одночасно з викопуванням коренеплодів, за рахунок обертання очисного вала, плоскі пружні лопаті взаємодіють з головками коренеплодів і грудками ґрунту, при цьому відбувається прямий удар плоских пружних лопатей із наступним видаленням залишків гички з головок коренеплодів і руйнуванням грудок ґрунту [211], додаток Б.1.1.

Для викопування коренеплодів, які глибоко залягають відносно поверхні ґрунту (ЦБ, деякі сорти М) застосовують розрихлювачі 8, встановлені позаду ходу сферичного диска 1 (рис. 2.9в), які можуть бути виконані у вигляді культиваторної лапи або долота. У процесі роботи розрихлювач попередньо підкопує коренеплоди, при цьому порушуються зв'язки коренеплодів з ґрунтом, тобто відбувається попереднє кришення пласта ґрунту. Коренеплоди, зв'язок яких з ґрунтом порушується, далі легко викопуються із розкришеного ґрунту сферичним диском і зміщуються ним у напрямку площини, яка проходить через лезо сферичного диска. При цьому маємо можливість вглиблювати диск до раціональної глибини з таким розрахунком, щоб не втрачати коренеплоди та подавити на адаптовані очисні ТТС АКМ мінімум ґрунту та рослинних домішок [212], додаток Б.1.1.

Класифікацію ОРО наведено на рис. 2.10. Загальний вигляд і конструктивно-компонувальні схеми ОРО у плані наведеної класифікації (рис. 2.10) наведено на рис. 2.11, 2.12 [77].

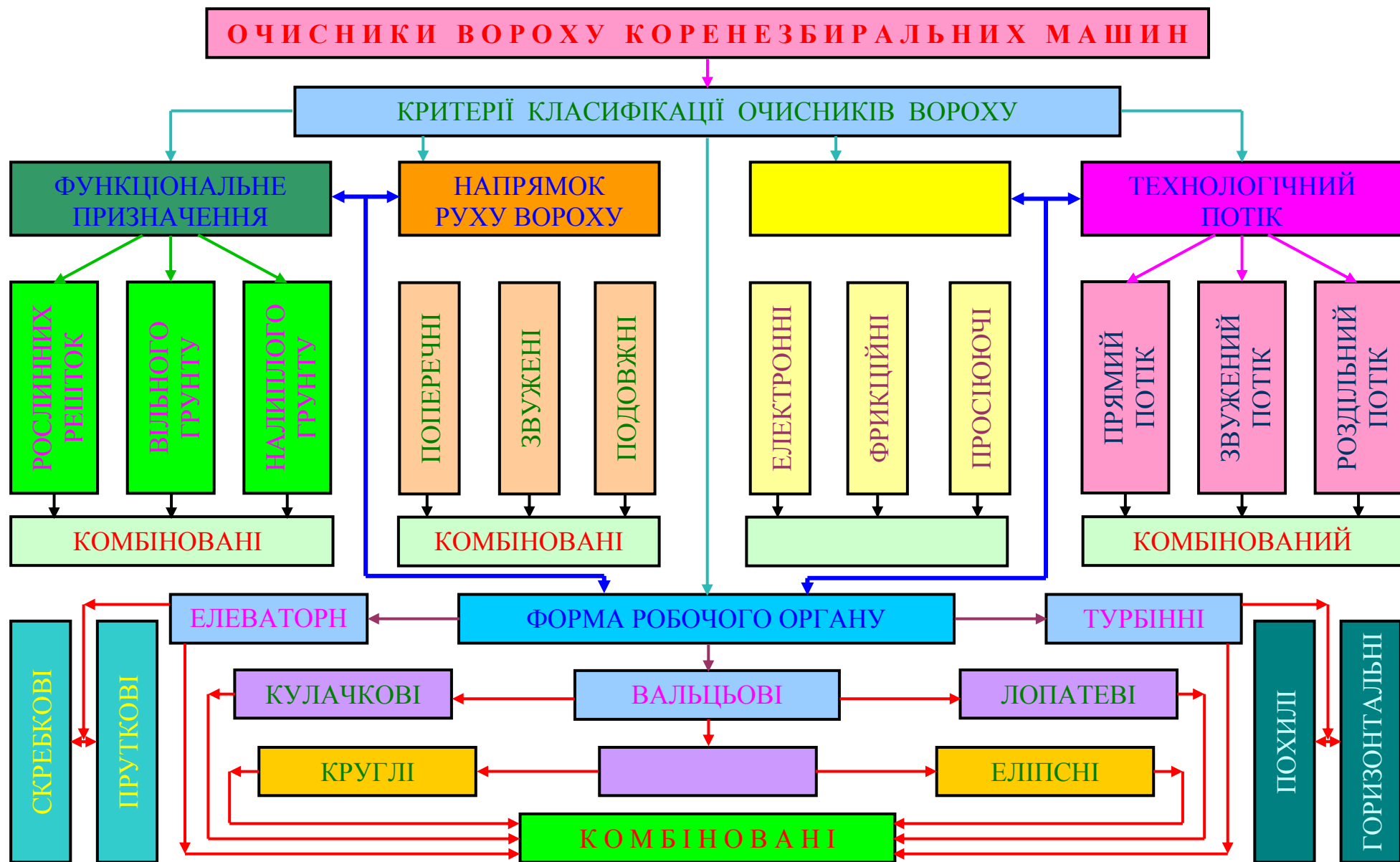
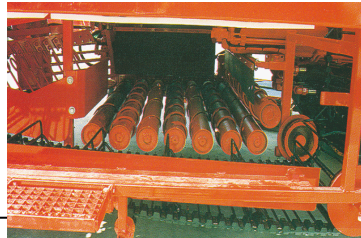
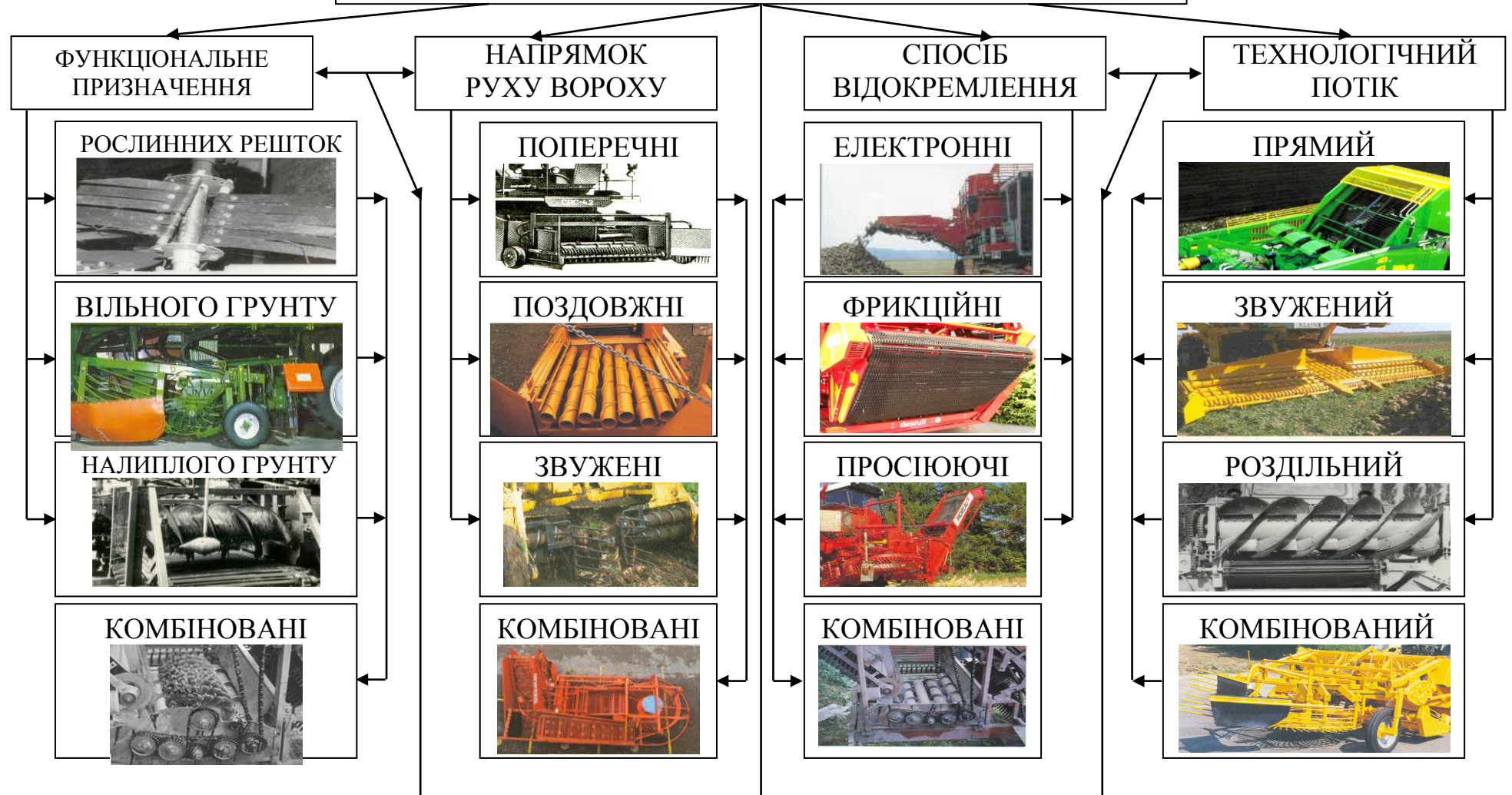


Рис.2. 10. Класифікація очисних робочих органів КМ

ОЧИСНИКИ ВОРОХУ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН



КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ОЧИСНИКІВ ВОРОХУ



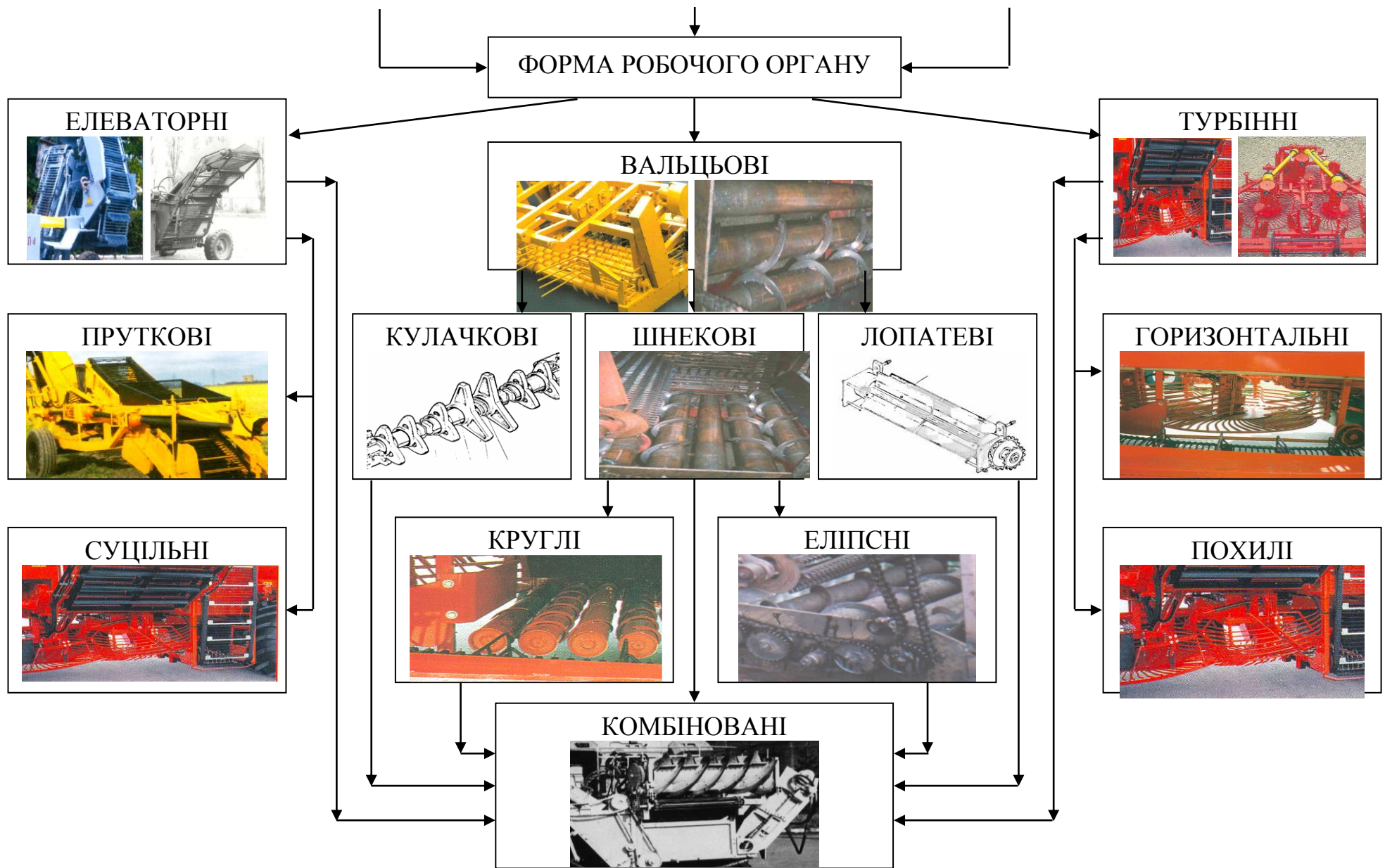
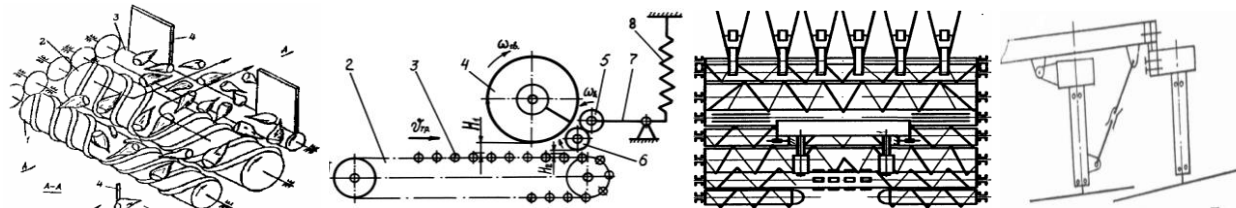
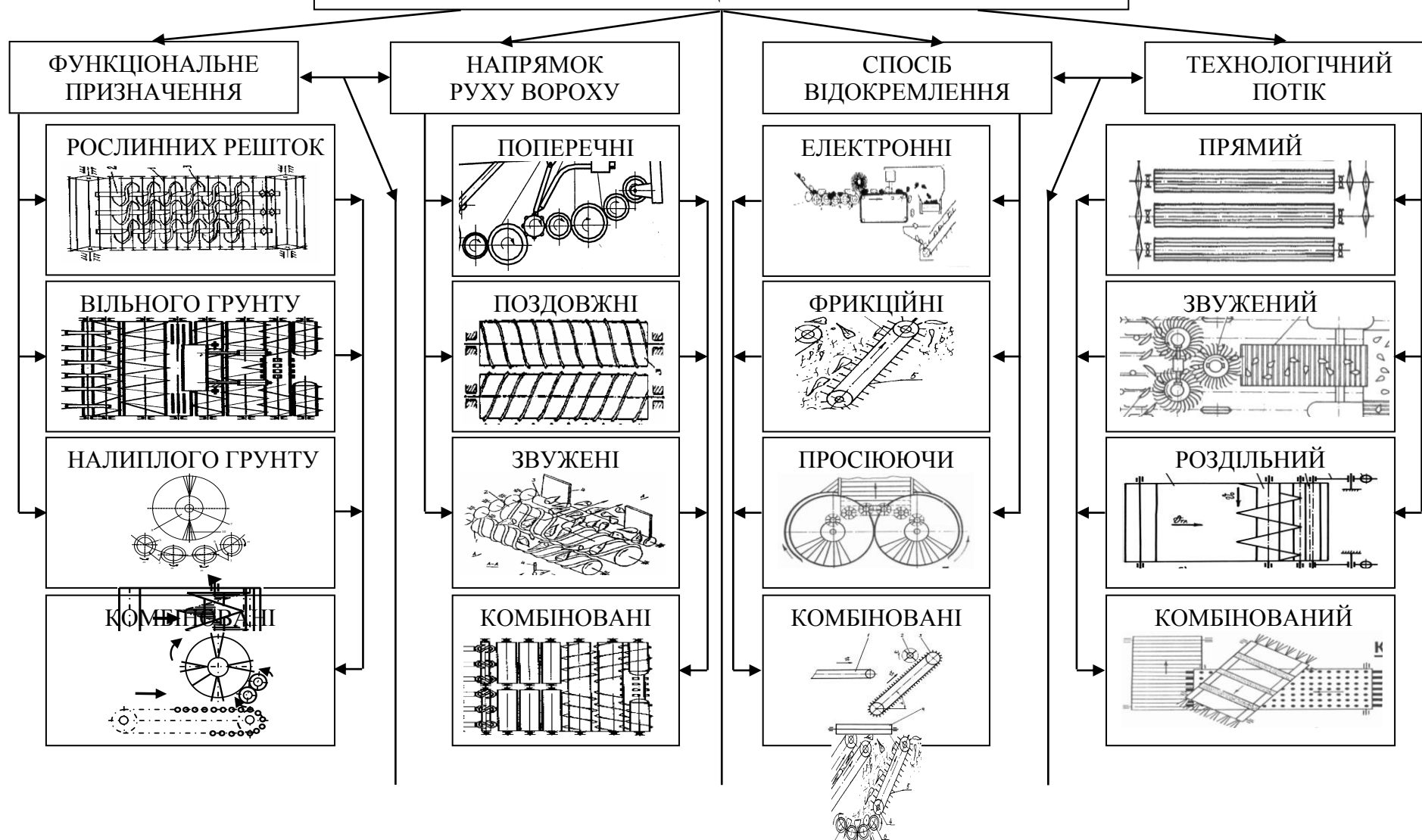


Рис. 2.13. Класифікаційні конструктивно-компонувальні схеми ОРО

ОЧИСНИКИ ВОРОХУ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН



КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ОЧИСНИКІВ ВОРОХУ



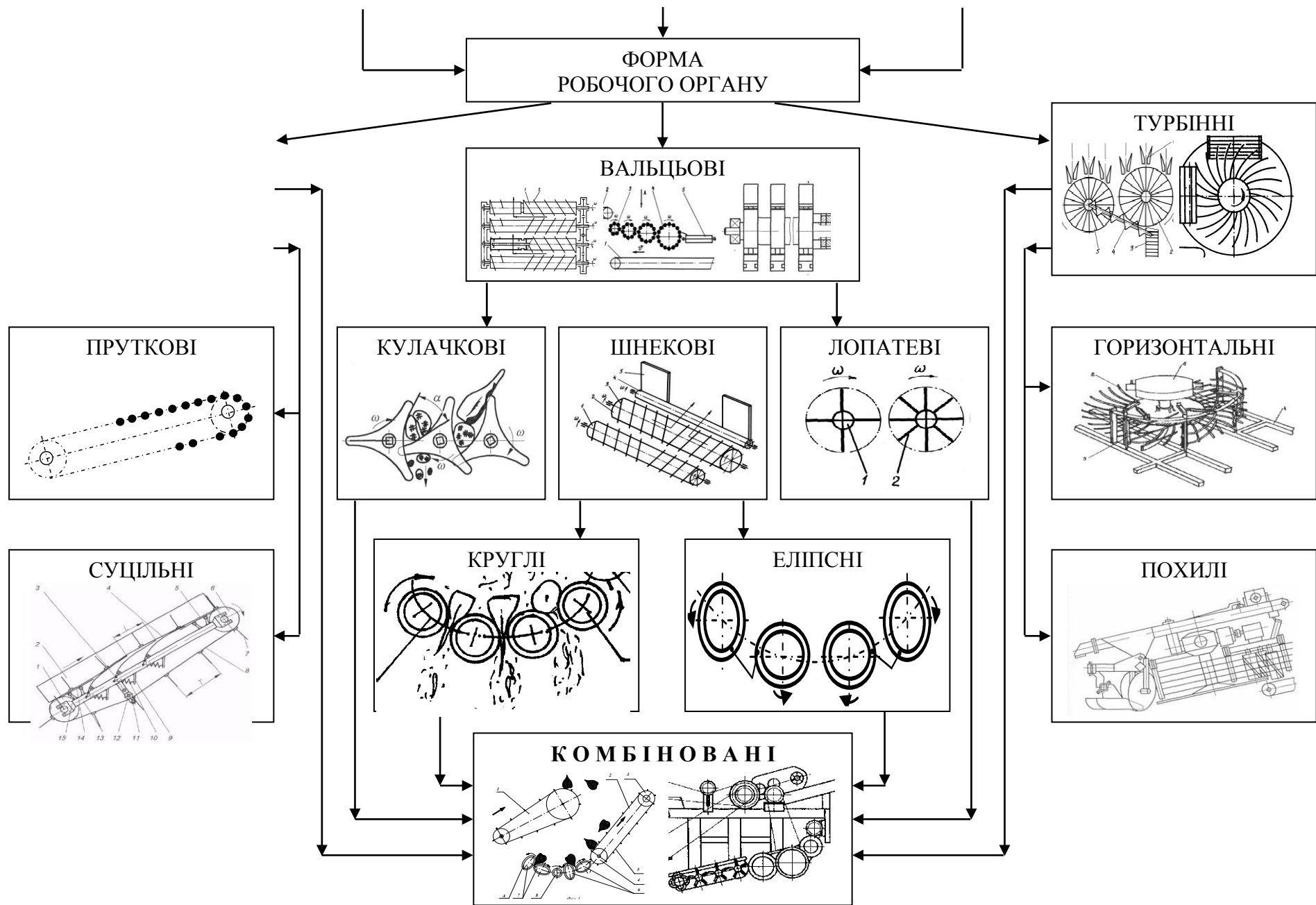


Рис. 2.14. Класифікаційні конструктивні схеми ОРО

За способом відокремлення ОРО поділяються на електронні (застосовуються, як правило на стаціонарних пунктах доробки ВК), фрикційні (за різницею коефіцієнтів тертя компонентів домішок), просіюючи (за формою і розмірами компонентів домішок), комбіновані (поєднують можливі комбінації).

За технологічним потоком руху домішок і коренеплодів розрізняють наступні ОРО: прямий потік, коли коренеплоди і домішки переходять з одного на другий ОРО без зміни ширини потоку; звужений потік, коли коренеплоди і домішки переходять з одного на другий ОРО змінюючи ширини потоку на одному з очисників; роздільний потік, коли коренеплоди і домішки в процесі очищення та після нього рухаються в різних напрямках окремими потоками.

Загальні принципові недоліки роботи існуючих і технічно реалізованих типів ОРО (транспортних, шнекових, лопатевих, турбінних), якими в основному обладнують навісні, причіпні та самохідні КМ, СБК наступні: відносно значна, як відсоткова (до 3 % відносно маси коренеплодів), так і масова кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів, а також відсоткова (від 0,5 до 1,5 % відносно маси коренеплодів) та масова кількість залишків гички на головках коренеплодів, що значно знижує залежно від культури, або в одному випадку, якість цукрової сировини та вихід цукру, або в іншому випадку – термін зберігання продукції. Крім того, разом із зібраними коренеплодами з полів вивозиться в середньому від 1,5...3,0 % родючого ґрунту залежно від урожайності культури [1, 78, 179].

Аналіз конструктивно-технологічних процесів роботи КМ показав, що об'єктивною причиною технологічної недосконалості роботи існуючих ОРО є те, що в них конструктивно та технологічно якісно неможливо одночасно поєднати під час збирання дві технологічні операції в одну – очищення ВК із одночасним видаленням залишків гички на їх головках, а також те, що очищення коренеплодів від домішок відбувається в одному технологічному потоці, коли коренеплоди і домішки пересуваються по поверхні очисних робочих органів у одному повздовжньому або поперечному напрямках, що значно утруднює процес відокремлення різного роду домішок від коренеплодів [179].

З проведеного аналізу досліджень і огляду конструкцій ОРО встановлено, що проблема додаткової сепарації коренеплодів є актуальною і дедалі частіше у конструкціях вітчизняних і зарубіжних машин застосовуються такі робочі органи. При цьому переважна більшість конструкцій очисників ефективно відокремлює лише вільні ґрунтові домішки, тоді як рослинні рештки практично не відділяються з вороху.

Тому перспективним напрямком є вдосконалення комбінованих очисних транспортуючих робочих органів, які забезпечать одночасне відокремлення домішок із складу поступаючого ВК від вільного та налиплого на поверхні тіла коренеплодів ґрунту, рослинних решток при їх мінімальних пошкодженнях.

Пошук більш радикальних шляхів підвищення технологічної ефективності роботи очисних систем ВК шляхом збільшення активності їх робочих поверхонь було досягнуто за рахунок розмежування в процесі очищення ВК руху базових потоків коренеплодів і домішок на два взаємно перпендикулярні напрямки, яке реалізовано на основі застосування КОС [213], який складається з подавального горизонтального пруткового транспортера 1 (рис. 2.13) та встановленого із зазором над прутками 2 та перпендикулярно напрямку швидкості руху V_{mp} робочої гілки транспортера відвідного шнека 3. Відвідний шнек виконаний у вигляді труби 4, на поверхні якої по гвинтовій лінії встановлено спіральні витки 5. Відвідний шнек обертається зустрічно напрямку руху подавального пруткового транспортера з кутовою швидкістю ω , додаток Б.2.1.

При подачі ВК до шнека, складовими компонентами якого є коренеплоди з налиплим ґрунтом і залишками гички на їх головках і без них, вільні ґрунтові та рослинні домішки відбувається заповнення ВК просторів між витками шнека та між шнеком і робочою гілкою транспортера. Витки шнека, взаємодіючи з коренеплодами, пересувають їх в бік, тобто знімають їх з транспортера, при цьому відбуваються випадки співудару грудок ґрунту з поверхнею шнека. Грудки ґрунту руйнуються і весь сипкий ґрунт і дрібні рослинні домішки просіюються в отвір між прутками транспортера, а не просіяні – сходять з нього, проходячи через зазор між витками шнека і транспортером.

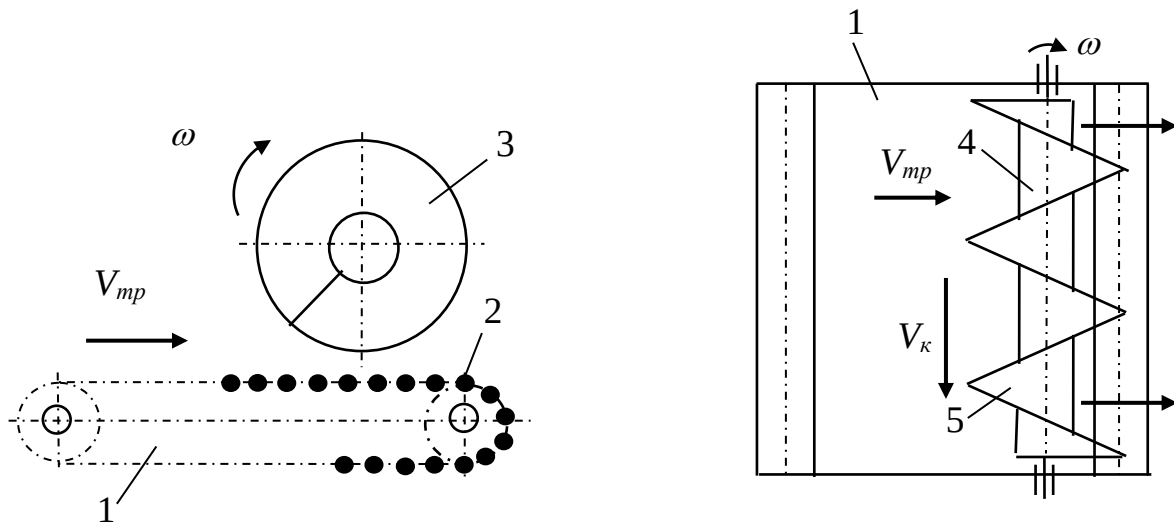


Рис. 2.13. Схема комбінованого очисника

Принциповим загальним недоліком роботи даної та технічно реалізованої КОС залишається значна кількість ґрунтових і рослинних домішок, при цьому до 70 % від їх загальної кількості складає маса вільного та налиплого ґрунту, до 10 % – залишків гички на головках коренеплодів [8, 78].

Підвищення показників якості роботи КОС ВК, а в загальному – всієї АКМ, вирішується застосуванням базового варіанту АТОКРО (рис. 2.14а), або додатковим встановленням за шнеком 3, в сторону вихідного кінця подавального транспортера 1 пари приводних циліндричних відминальних вальців 6, які встановлені один над одним і над подавальним транспортером на деякій відстані від прутків 2 робочої гілки. Відминальні вальці обертаються назустріч один одному з кутовою швидкістю ω_1 . Крім того на трубі 4 шнека по гвинтовій лінії змонтовано очисні пружні елементи 7, які набрані із пучків ворсу 8. Напрямок навивання гвинтової лінії спіральних витків 5 і очисних пружних елементів, встановлених на трубі 4 шнека, зустрічний [214], додаток Б.2.1.

Коренеплоди без залишків гички на їх головках і з її залишками та налиплим ґрунтом на поверхні тіла коренеплодів, а також непросіяні домішки переміщуються витками шнека уздовж осей обертання спіральних витків, очисних пружних елементів і відминальних вальців. Зазнаючи підпирання зі сторони нової подачі ВК, який надходить по робочій гілці транспортера та за мірою його пересування до відминальних вальців відбувається затягування

залишків гички на головках коренеплодів і рослинних домішок між поверхнями відминальних вальців у силу їх зустрічного напрямку обертання. Пройдені між вальцями рослинні домішки поступають на вихідний кінець транспортера. Залишки гички на коренеплодах, зазнаючи подвійної дії зусиль втягування робочими поверхнями відминальних вальців і переміщення коренеплодів витками шнека вздовж його осі обертання, відділяються від головки коренеплодів методом відминання та аналогічно всім домішкам виносяться транспортером за його межі. Крім того, очисні пружні елементи приводного взаємодіють на тіло коренеплодів, очищаючи при цьому їх поверхню від налиплого ґрунту та в силу їх зустрічного обертання відносно руху спіральних витків шнека переміщують рослинні домішки в протилежному напрямку вивантажувальній зоні очисника, тобто в сторону протилежну руху коренеплодів, збільшуючи час знаходження домішок на робочій гільці подавального транспортера.

Таким чином, покращення технологічного процесу очищення коренеплодів від домішок, особливо відокремлення налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів і залишків гички з їх головок, досягається в першому випадку шляхом

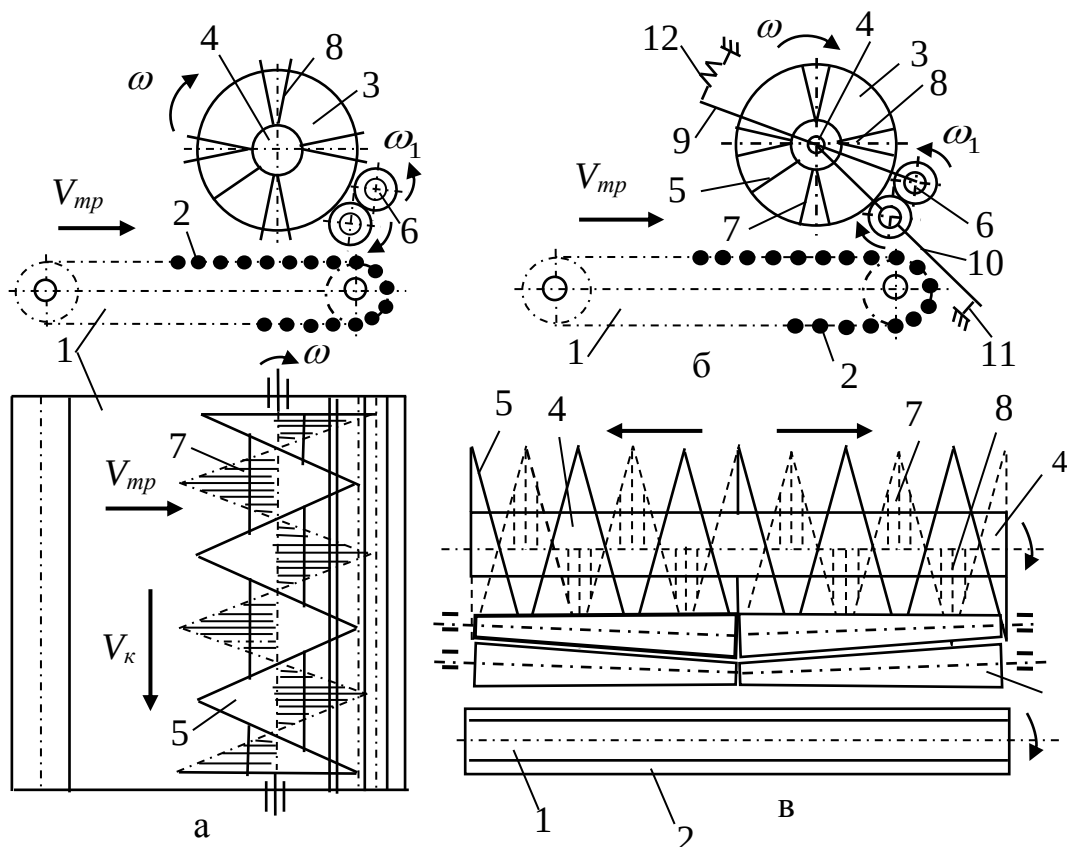


Рис. 2.14. Схема базового АТОКРО

динамічної дії пружних очисних елементів, які змонтовані на трубі шнека на компоненти домішок ВК, а в другому випадку – затягуванням залишків гички між робочі поверхні відминальних вальців.

Для підвищення надійності роботи АТОКРО та ступеня відокремлення залишків гички з головок коренеплодів за рахунок усунення технологічних зупинок під час попадання інородніх тіл у зазор між нижнім відминальним вальцем і робочою гілкою пруткового транспортера у першому випадку та збільшення сили контактної взаємодії (притискання) робочих поверхонь відминальних вальців у другому випадку, вальці 6 (рис. 2.14б) встановлені на шарнірно закріплених верхньому 9 та нижньому 10 важелях, шарніри яких розташовано на кінцях вала шнека та співвісні з ним. Поворот нижнього важеля обмежений встановленими упорами 11, а верхній відминальний валець за рахунок пружини 12 виконаний підпружиненим відносно нижнього вальця [215, 216], додаток Б.2.1.

При попаданні каменів або твердих предметів між транспортером і нижнім відминальним вальцем відбувається одночасний поворот вверх вальців на шарнірних важелях, долаючи опір пружини. Зазор між нижнім відминальним вальцем і робочою гілкою транспортера стає рівним висоті інородніх тіл, які вільно проходять через даний зазор і виносяться транспортером за межі очисника, а вальці повертаються в початкове положення, при цьому нижній важіль упирається в упор.

Крім того підвищення технологічної ефективності процесу відокремлення рослинних домішок відбувається за рахунок виконання шнека 3 (рис. 2.14в) двосекційним, при цьому напрямок навивання спіральних витків 5 однієї секції протилежний напрямку навивання спіральних витків іншої секції та спрямований у сторону відповідних вихідних кінців шнека. За кожною секцією шнека, в сторону вихідного кінця подавального транспортера 1, розмішена пара приводних відминальних вальців 6, які встановлені консольно один над одним і над подавальним прутковим транспортером. Кожен приводний відминальний валець відповідної пари виконаний у формі усіченого конуса, причому конуси розташовані один над одним, відповідно, великою та малою основами [217], додаток Б.2.1.

2.2. Розробка принципової конструктивно-технологічної схеми адаптованої коренезбиральної машини

Таким чином, застосування базових конструкцій АВТОКРО і АТОКРО дозволяє значно підвищити показники якості роботи АКМ шляхом зменшення домішок у зібраному ВК, особливо грудок ґрунту та залишків гички на головках коренеплодів, налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів за рахунок додаткової інтенсифікації дії на ВК робочих органів базових структурних елементів ТТС АКМ на етапах викопування ВК та реалізацією на операції його очищення принципу розмежування напрямків руху коренеплодів і домішок на два взаємно перпендикулярні потоки.

Критеріями відповідності можливого застосування адаптованих робочих органів базових ТТС АКМ повинні бути покладені загальні основні принципи оптимізаційних властивостей подібності функціонування технологічного процесу збирання коренеплодів. Обґрунтованість даних положень цілком закономірно стверджується на основі аналізу подібності класифікаційних ознак можливого прогнозування розробки адаптованих базових ТТС і АКМ у цілому: агротехнологічних характеристик коренеплодів – розмірно-масових (довжина, діаметр, маса та їх співвідношення тощо); біологічних (густота насаджень; залягання в ґрунті відносно його поверхні – над поверхнею, на рівні, нижче рівня ґрунту; геометрична просторова форма тіла коренеплоду – конус, еліпсоїд тощо); кінематичних і динамічних показників функціонування технологічних процесів викопування, транспортування, очищення та вивантаження коренеплодів до яких відносяться поступальна робоча швидкість руху АКМ, кутова швидкість обертання робочих органів, кінематичні показники різних співвідношень швидкісних режимів, необхідні зусилля на викопування, вивалювання, очищення та пошкодження коренеплодів [129].

Велика кількість створених конструкцій робочих органів, вузлів та компоновальних схем КМ потребує диференційованого підходу при виборі, розрахунку, проектуванні, дослідженні та впровадженні нових розробок у

виробництво. Тому класифікований підхід з урахуванням особливостей робочих органів, схем компоновання і способів їх функціонування, забезпечить можливість проведення аналізу і синтезу необхідної конструктивно-технологічної схеми АКМ для конкретних умов експлуатації. Різноманітність конструктивних схем ВРО і ОРО у прямій залежності пов'язана, як із технологічними процесами збирання, так і з конструктивно-технологічними вимогами до якості викопування, очищення, транспортування і завантаження коренеплодів.

Структурну модель алгоритму розробки та побудови АВТОКРО наведено на рис. 2. 15 [77].

На основі проведеної ідентифікації (аналізу та синтезу) аналогів попередніх ВРО (рис. 2. 16), нами запропоновано удосконалені конструкції АВТОКРО, які прийняті за основний варіант дворядного АВТОКРО проектованої АКМ. Вони поєднують одночасно в собі всі позитивні сторони та переваги відносно існуючого однодискового сферичного копача (рис. 2.8) та застосовуються в умовах надмірної вологості ґрунту та забур'яненості посівів коренеплодів [137].

Конструктивна схема дворядного АВТОКРО наведена на рис. 2.17, вигляд зверху та в додатку Б 3.2.

Дворядний АВТОКРО складається із встановлених під кутом α до осі рядка коренеплодів двох сферичних дисків 1, які вільно посаджені на своїй осі обертання 2. У передній зоні робочої кромки кожного з сферичних дисків 1 встановлено корененаправляч 3. Над дисками, перпендикулярно напрямленню робочої швидкості руху копача V_k , встановлено горизонтальний приводний вал 4. Горизонтальний приводний вал містить барабан 5, несучий фланці 6. Барабан горизонтального вала виконаний трисекційним. Між фланцями барабана по його колу встановлено послідовно осі 7, 8, 9 на яких закріплено плоскі пружні лопаті 10, 11. Осі 7, 8 двох крайніх секцій 12, 13 барабана утворюють усічений конус, причому крайні секції 12, 13 направлені одна до одної меншими основами. Осі 9 середньої секції 14 утворюють циліндр. Площини, які проходять через осі 7, 9 або 8, 9 суміжних секцій 12, 14 або 13, 14 утворюють між собою тупий кут [218].

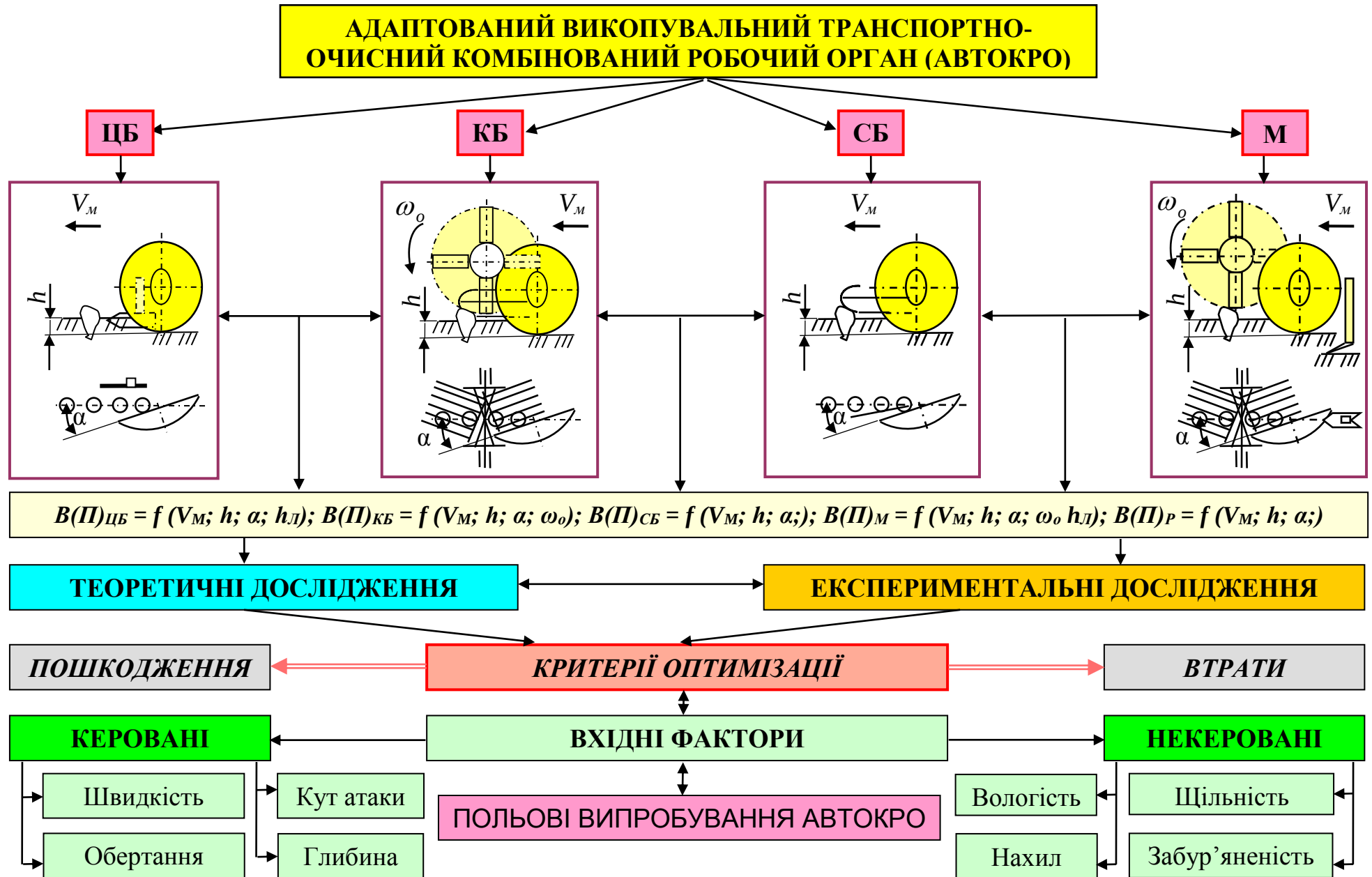


Рис. 2.15. Структурна модель АВТОКРО

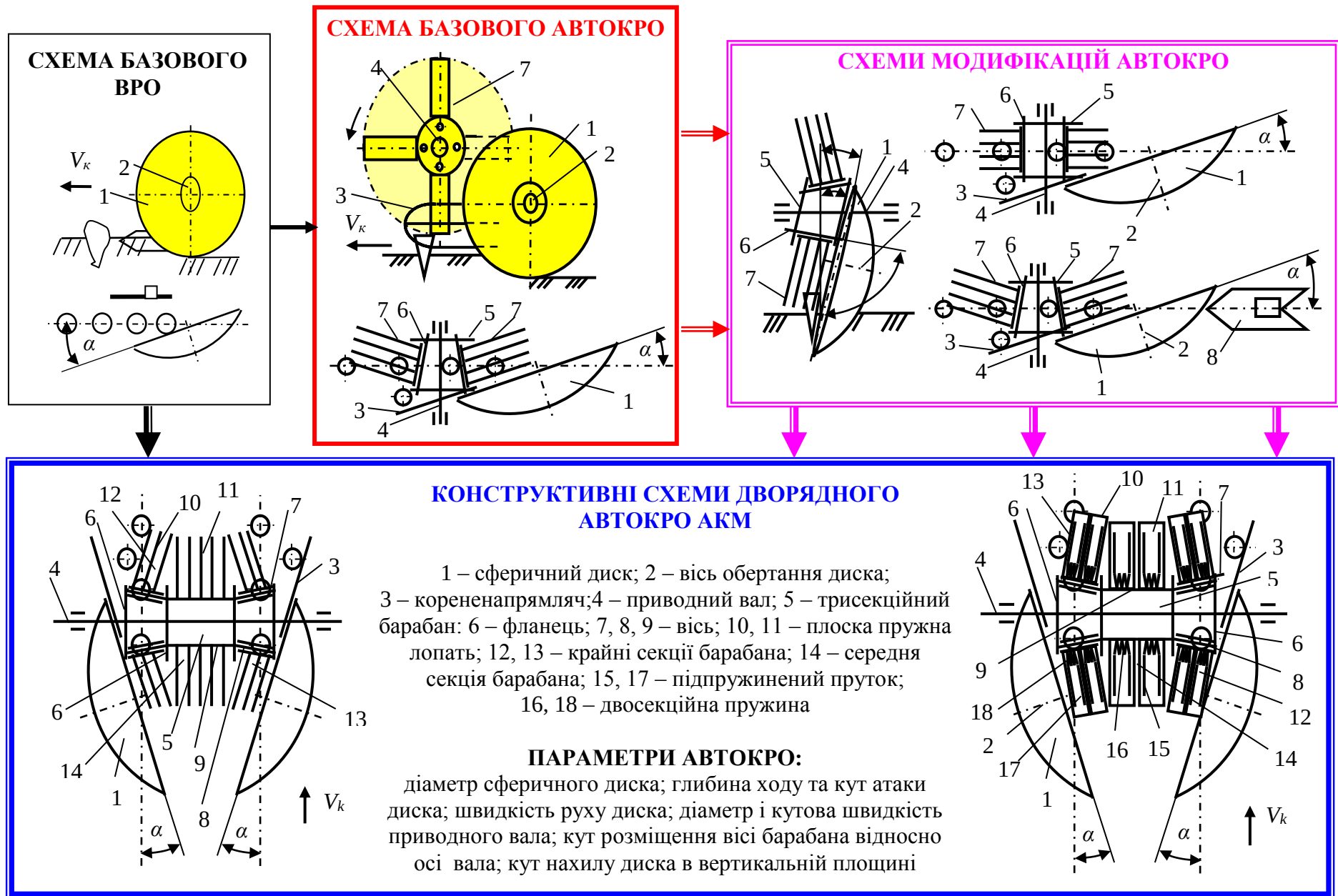


Рис. 2. 16. Ідентифікація процесу розробки конструктивно-компонувальної схеми АВТОКРО

Комбінований дворядний АВТОКРО АКМ працює наступним чином.

Під час руху АВТОКРО АКМ, корененаправляч зміщує вибиті із рядка коренеплоди до його центру, а сферичний диск викопує коренеплоди. Одночасно з викопуванням коренеплодів, за рахунок обертання приводного вала, плоскі пружні лопаті двох крайніх секцій взаємодіють з головками коренеплодів, при цьому одночасно відбувається очищування головок коренеплодів від залишків гички з двох суміжних рядків і руйнування грудок ґрунту. Крім того, плоскі пружні елементи середньої секції також одночасно взаємодіють з коренеплодами та грудками ґрунту, очищують поверхні тіла коренеплодів від налиплого ґрунту та руйнують грудки ґрунту з одночасним проштовхуванням вороху, який знаходиться у просторі сферичних дисків, що прискорює його подачу на наступні ТТС АКМ.

Таким чином можна констатувати, що встановлення приводного вала із плоскими лопатями, дозволяє одночасно з викопуванням відокремлювати залишки гички з головою коренеплодів і зменшувати секундну подачу домішок за рахунок контактної взаємодії лопатей з компонентами ВК, при цьому підвищується технологічна надійність процесу викопування коренеплодів і, як наслідок – продуктивність роботи копача та АКМ.

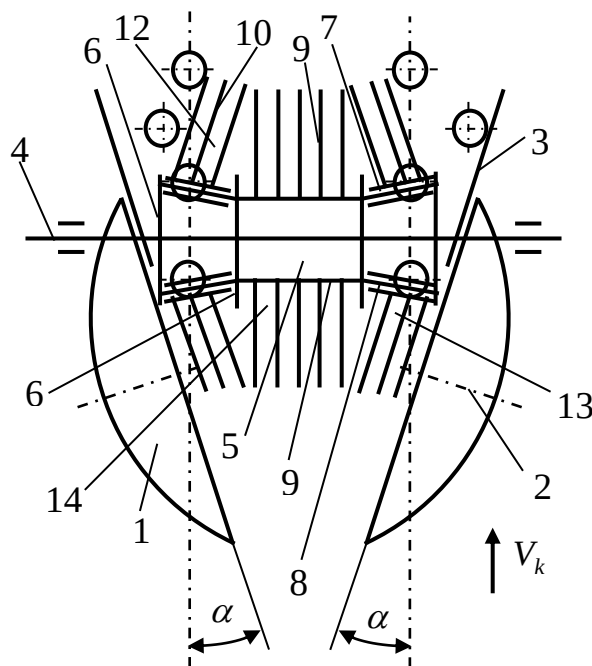


Рис. 2.17. Конструктивна схема дворядного АВТОКРО АКМ

Для зниження подачі ґрунтових домішок, під час роботи дворядного АВТОКРО в умовах сухого та твердого ґрунту, на зовнішній стороні кожної плоскої пружної лопаті 11 (рис. 2.18а) середньої секції 14 встановлюють підпружинений пруток 15, який виконано у вигляді двосекційної пружини 16, яка жорстко закріплена на кожній осі 9 середньої секції 14 [219], додаток Б.3.2.

Одночасно з викопуванням коренеплодів, за рахунок обертання приводного вала, плоскі пружні лопаті двох крайніх секцій взаємодіють з головками коренеплодів, а плоскі пружні лопаті середньої секції – з викопаними сферичними дисками грудками ґрунту, при цьому одночасно відбувається очищення головок коренеплодів від залишків гички з двох суміжних рядків коренеплодів і інтенсивне руйнування грудок ґрунту за рахунок ударного контакту внутрішньої сторони плоских пружних лопатей із грудками ґрунту. Крім того, плоскі пружні лопаті середньої секції одночасно з руйнуванням грудок ґрунту проштовхують викопаний сферичними дисками ворох, який знаходиться у просторі між ними, тим самим прискорюючи його переміщення на наступні технологічні системи АКМ.

Для регулювання сили контакту плоских пружних лопатей 10 (рис. 2.18б) двох крайніх секцій 12, 13 із головкою коренеплодів, або забезпечення максимального ступеня очищення залишків гички з головок коренеплодів і одночас-

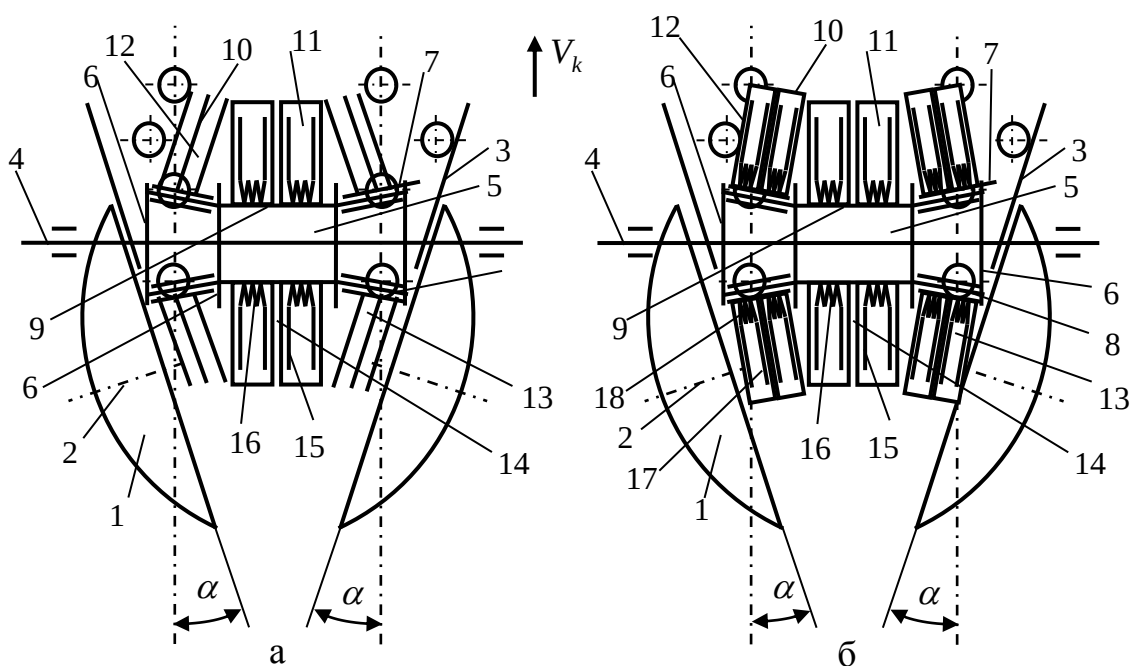


Рис. 2.18. Удосконалені дворядні АВТОКРО

ного узгодженням компромісу відносно ступеня пошкодження коренеплодів, які не повинні перевищують межу згідно з агротехнічними вимогами, запропоновано встановлювати на зовнішній стороні кожної плоскої пружної лопаті двох крайніх секцій 12, 13 трисекційного барабана 5 підпружинений прутки 17, який виконано у вигляді двосекційної пружини 18. Двосекційна пружина жорстко закріплена на кожній осі 7, 8 трисекційного барабана. Сила контакту плоских лопатей двох крайніх секцій регулюється за допомогою повороту кожної осі секцій, що призводить до зміни сили закручування двосекційної пружини та сили прижимання підпружиненого прутка [220], додаток Б.3.2.

При цьому знижується подача ґрунтових домішок за рахунок їх динамічного руйнування лопатями середньої секції та підвищується технологічна надійність процесу викопування ВК, що дозволяє підвищити продуктивність роботи копача та АКМ в цілому.

Таким чином, у загальному за рахунок встановлення сферичного диска під кутом α до вертикалі відбувається інтенсифікація процесу викопування коренеплодів шляхом виникаючої під час руху диска додаткової проекції бокової виштовхуючої сили на вертикальну площину та усувається забивання простору між суміжними викопувальними дисками крупними коренеплодами, тому що вони проштовхуються лопатями бітера. Крім того, одночасно з викопуванням коренеплодів відбувається відокремлення залишків гички за рахунок контактної взаємодії очисних лопатей з головкою коренеплодів, а за рахунок встановлення в передній частині робочої кромки диска корененап-рамляча усуваються втрати і пошкодження вибитих із рядків коренеплодів.

Структурну модель алгоритму розробки та побудови АТОКРО наведено на рис. 2.19 [78].

На основі проведеної ідентифікації (аналізу та синтезу) аналогів попередніх АТОКРО (рис. 2.20) для подальшої інтенсифікації процесу відокремлення домішок від коренеплодів нами запропоновано удосконалені конструкції АТОКРО, які передбачають ефективну роботу не тільки у оптимальних умовах роботи, але і у екстремальних – на важких ґрунтах в

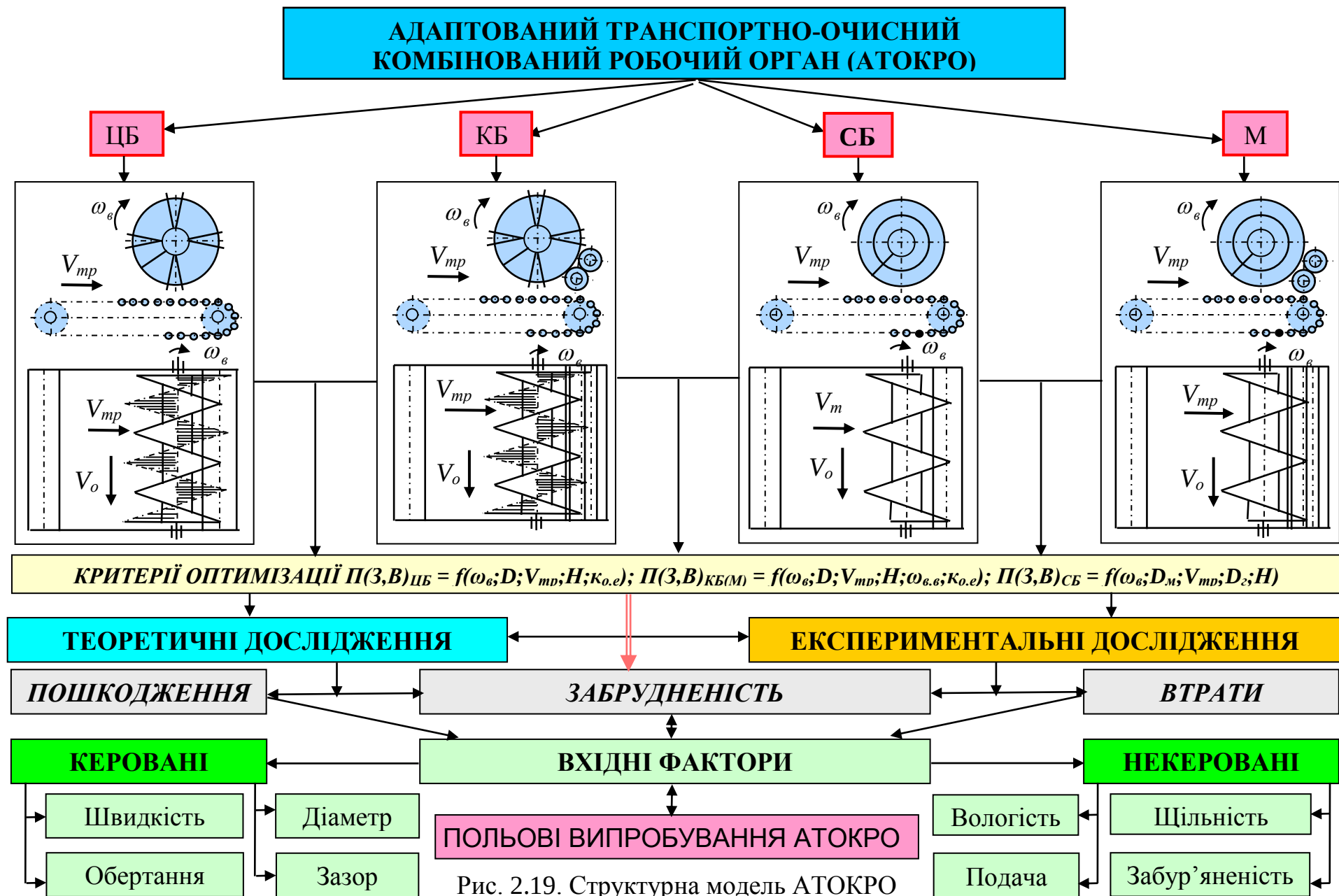


Рис. 2.19. Структурна модель АТОКРО

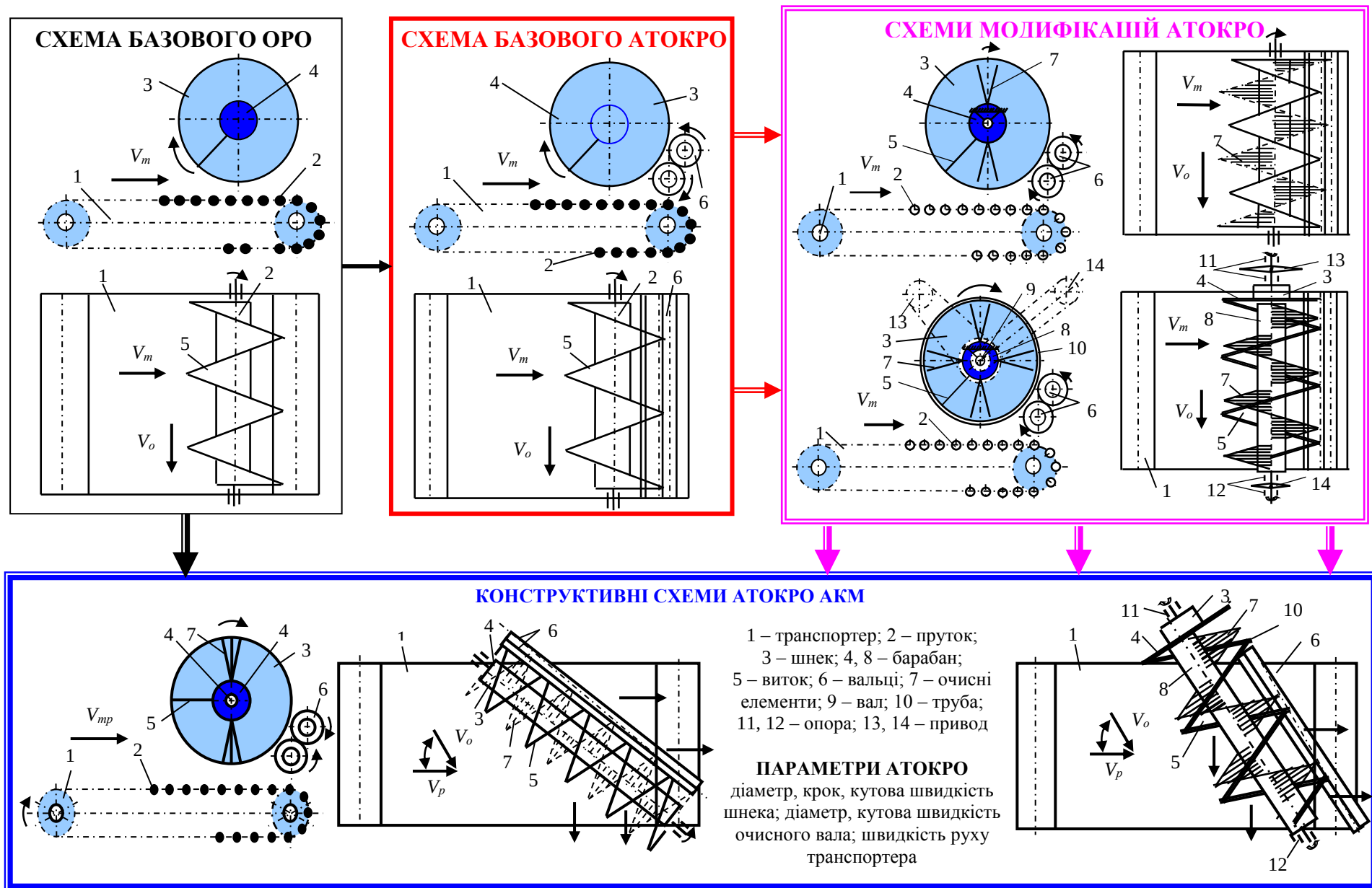


Рис. 2. 20. Ідентифікація процесу розробки конструктивно-компонувальної схеми АТОКРО

умовах підвищеної вологості ґрунту та значної забур'яненості посівів коренеплодів. Вони поєднують одночасно в собі всі позитивні сторони та переваги відносно існуючої КОС (рис. 2.15) та застосовуються в умовах надмірної вологості ґрунту та значної забур'яненості поля та можуть бути прийняті за основний базовий варіант АТОКРО проектованої АКМ.

Для інтенсифікації процесу відокремлення налиплого ґрунту з поверхні тіла викопаних коренеплодів запропоновано удосконалену конструкцію АТОКРО, конструктивну схему якої наведено на рис. 2.21 [221], додаток Б.4.2.

На відміну від базового АТОКРО (рис. 2.14а, б) приводний шнек 3 (рис. 2.21) виконаний у вигляді пустотілого гвинтового циліндра змонтованого консольно на опорах 4 шнека. Витками 5 шнека є навита по гвинтовій лінії труба 6 круглого перерізу, яка закріплена збоку опор шнека на фланці 7. Шнек за допомогою веденої зірочки 8 приводу 9 шнека обертається назустріч руху подавального транспортера з кутовою швидкістю ω . В порожнині пустотілого гвинтового циліндра розміщено приводний очисний вал 10 на трубі 11 якого по гвинтовій лінії закріплено очисні пружні елементи 12, причому очисний вал змонтовано консольно на опорах 13 очисного вала, які розміщені з протилежного боку консольних опор шнека. Очисний вал за допомогою веденої зірочки 14 приводу 15 очисного вала обертається назустріч руху шнека з кутовою швидкістю ω_2 . За шнеком, аналогічно попереднім АТОКРО, встановлена пара відминальних вальців 16. За рахунок виконання окремих приводів, відповідно,

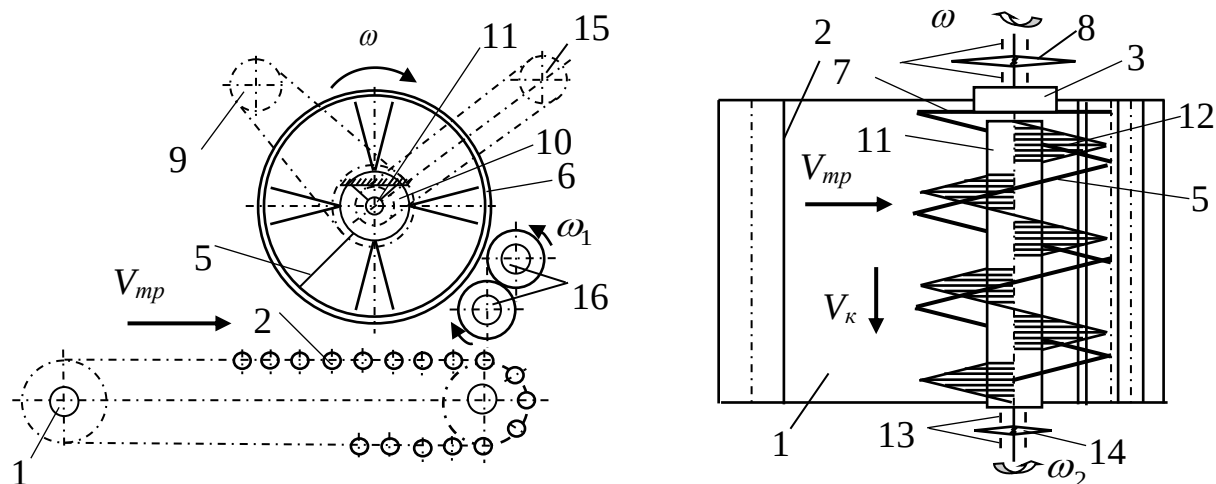


Рис. 2.21. Схема удосконаленого базового АТОКРО

шнека і очисного вала можна незалежно один від одного регулювати числові значення кутових швидкостей обертання гвинта ω і очисного вала ω_2 , тобто встановлювати незалежно від кутової швидкості обертання шнека більшу кутову швидкість обертання очисного вала, що значно підвищує очисний ефект відокремлення налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів.

Таким чином, інтенсифікація технологічного процесу очищення коренеплодів від домішок, особливо відокремлення налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів, досягається шляхом динамічної дії очисних пружних елементів, які змонтовано на приводному очисному валу на компоненти домішок ВК за рахунок можливості встановлення необхідної кутової швидкості обертання приводного очисного вала ω_2 при раціональному значенні кутової швидкості обертання шнека ω .

Конструктивні схеми удосконалених АТОКРО наведено на рис. 2.22, вигляд зверху.

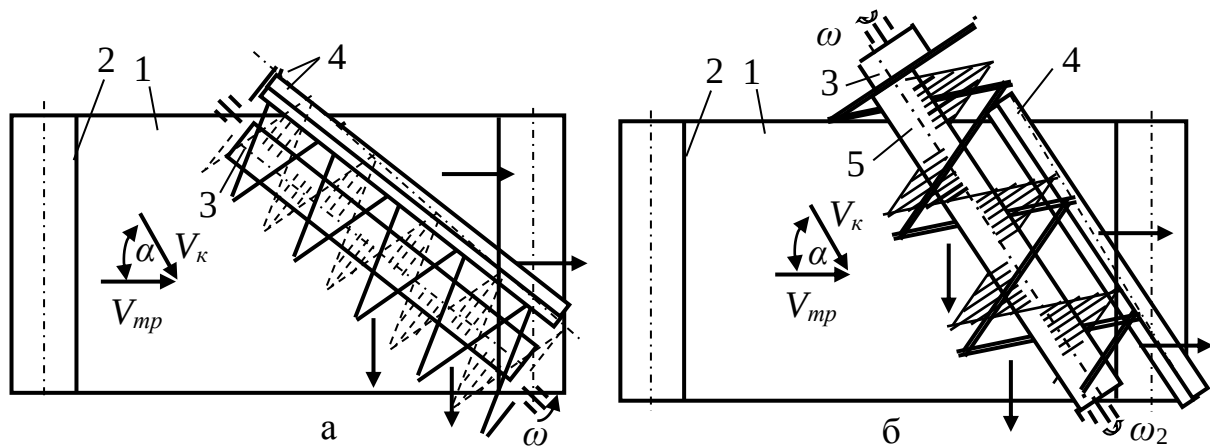


Рис. 2.22. Схеми удосконалених АТОКРО

Відмінність конструктивних схем удосконалених АТОКРО, які наведено на рис. 2.22 відносно схем, що показані на рис. 2.14а, в, рис. 2.19 полягає в тому, що шнек 3 і відминальні вальці 4 (рис. 2.20а) та шнек 3, відминальні вальці 4 і приводний очисний вал 5 (рис. 2.20б), які розміщені над прутками 2 горизонтального подавального транспортера 1 встановлені під деяким кутом α до напрямку швидкості руху $V_{тр}$ робочої гілки пруткового подавального транспортера [222-225], додаток Б.5.2.

Тому, таке розташування шнека і вальців дозволяє змінити напрямок потоку коренеплодів і домішок (розділити їх на два взаємно перпендикулярні потоки), збільшити шлях проходження і час знаходження матеріалу на прутковому транспортері, добиватися подрібнення і руйнування грудок землі внаслідок ударної дії, відокремлювати залишки гички на головках коренеплодів. У результаті цього досягається збільшення кількості відсіювання ґрунтових домішок і зменшення кількості рослинних домішок, у цілому інтенсифікується весь процес очищення ВК, тобто відбувається підвищення технологічної ефективності роботи пристрою за рахунок інтенсифікації процесу відокремлення домішок від коренеплодів шляхом збільшення шляху переміщення домішок по робочій гілці транспортера, або часу перебування їх на ньому.

Таким чином, запропоновані конструктивно-технологічні схеми робочих органів АВТОКРО і АТОКРО базових ТТС можуть мати широке використання в процесі розробки конструктивно-компонувальних схемах АКМ, які призначені для збирання різних культур коренеплодів.

Пристосування запропонованої АКМ до змінних технологічних умов збирання коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М дозволить значно підвищити техніко-експлуатаційні та економічні показники використання в цілому машинно-тракторних агрегатів.

На основі проведених досліджень і науково-концептуальних положень запропоновано конструктивну блок-схему АКМ, яку наведено на рис. 2.23. На рис. 2.24 наведено технологічну блок-схему АКМ, а на рис. 2.25 – схему технологічного процесу роботи АКМ.

У загальному контексті конструктивна та технологічна блок-схема АКМ побудована за модульним принципом і складається із послідовно розміщених блоків базових ТТС АКМ: *I* – АВТОКРО, *II* – ТТС, *III* – АТОКРО, *IV* – ВП [226].

Конструктивні ознаки та технологічні принципи функціонування, або будова та технологічний процес роботи базових ТТС АКМ (АВТОКРО і АТОКРО) описані вище. ТТС *II* є з'єднувальною ланкою між АВТОКРО і АТОКРО і являє собою замкнутий контур похилого пруткового транспортера, а

ВП IV (вивантажувальний пристрій) є замкнутим контуром скребкового вивантажувального транспортера.

Технологічний процес роботи АКМ наступний.

Під час руху АКМ сферичний диск 2 (рис. 2.23) викопує ВК у кількості $\bar{m}(t)$ (рис. 2.25), при цьому частина викопаного сипкого ґрунту та дрібних рослинних домішок у кількості $-\Delta\bar{q}_c(t)$ просіюється (втрачається) у процесі поступального та обертального рухів диска. Далі ВК у кількості $\bar{m}_c(t)$ (рис.

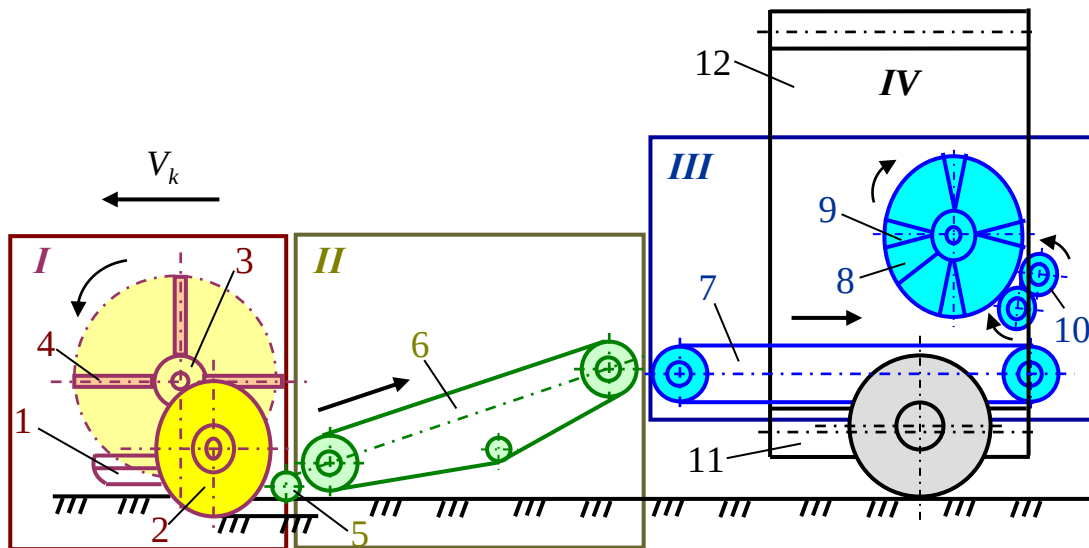


Рис. 2.23. Конструктивна блок-схема АКМ:

I – АВТОКРО: 1 – корененапрямник; 2 – однодисковий сферичний копач; 3 – приводний вал; 4 – лопать; II – ТТС: 5 – валець; 6 – похилий транспортер; III – АТОКРО: 7 – подавальний транспортер; 8 – шнек; 9 – пружні очисні елементи; 10 – відминальні вальці; IV – ВП: 11, 12 – поперечний і вивантажувальний транспортери

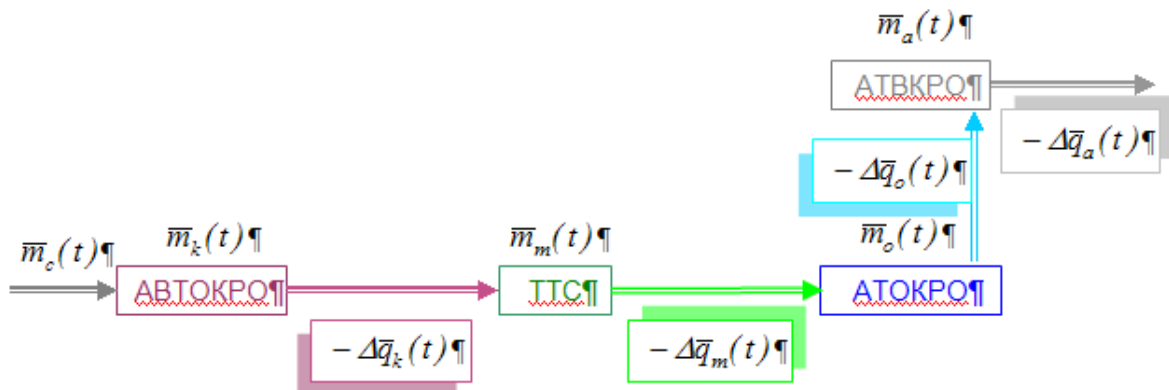


Рис. 2.24. Технологічна блок-схема АКМ

2.24) надходить до робочих органів АВТОКРО, де частина домішок у кількості $-\Delta\bar{q}_k(t)$ відокремлюється від ВК, тобто відбувається перший етап відокремлення ґрунтових і рослинних домішок від коренеплодів. У процесі подальшого переміщення ВК, відповідно, до ТТС у кількості $\bar{m}_m(t)$, де частково відбувається просіювання дрібних вільних ґрунтових і рослинних домішок у зазори між прутками, до АТОКРО у кількості $\bar{m}_o(t)$, до ВП у кількості $\bar{m}_a(t)$ відбувається поетапне відокремлення домішок від коренеплодів, відповідно, у кількості $-\Delta\bar{q}_m(t)$, $-\Delta\bar{q}_o(t)$, $-\Delta\bar{q}_a(t)$.

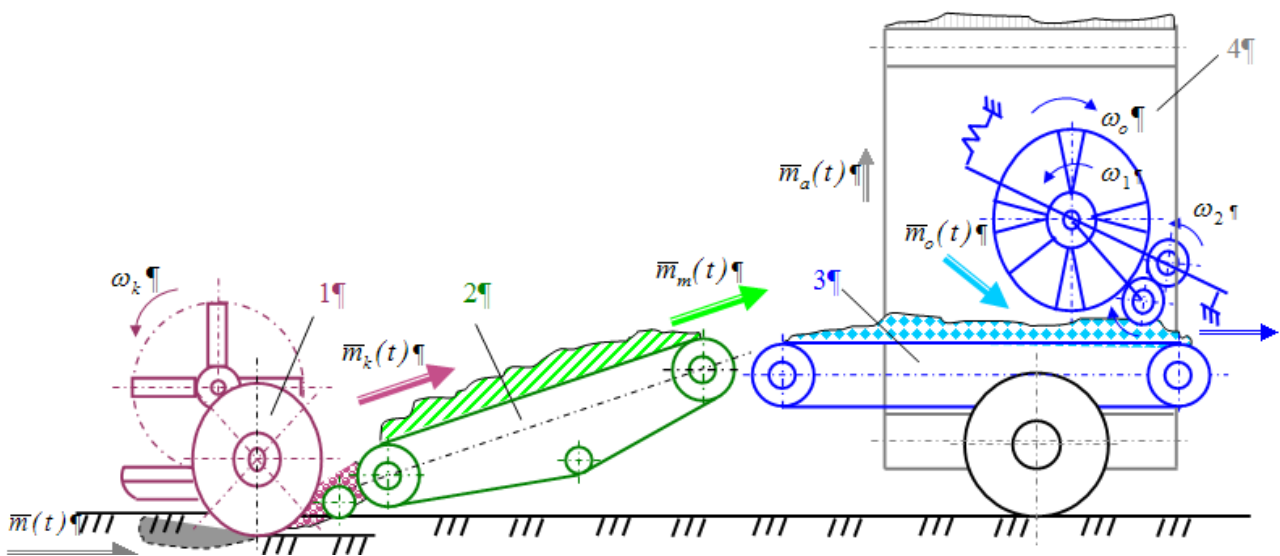


Рис. 2.25. Схема технологічного процесу роботи АКМ:

1 – АВТОКРО; 2 – ТТС; 3 – АТОКРО; 4 – ВП

Очищенні коренеплоди вивантажуються (завантажуються) у транспортний засіб (пристрій) технологічного призначення.

2.3. Попередні висновки до розділу

Відповідно до проведеного аналізу результатів досліджень сформульовано наступні висновки.

2.1. Щоб створити техніку, яка б забезпечила одночасне збирання різних культур коренеплодів, таких як ЦБ, КБ, СБ і М однією АКМ необхідно мати чітке уявлення про параметри результату та її діяльності. Ці параметри повинні

бути науково погоджені з вимогами до середовища об'єкту збирання, вимогами до технологічних операцій, які впливають на дане середовище та вимогами до АКМ і їх робочих органів, які виконують ці технологічні операції.

2.2. Розроблено алгоритм побудови конструктивно-компонувальної схеми АКМ який базується на застосуванні в її функціональній схемі основних адаптованих ТТС – АВТОКРО та АТОКРО, що являють собою моноблочні викопувальні та очисні базові ТТС комбінованих ВРО і ОРО.

3.2. Встановлено, що передумовами прогнозування ефективної розробки та побудови АКМ повинні бути: системний підхід до побудови класифікаційних ознак конструктивно-функціональних критеріїв поділу КМ та їх робочих органів базових ТТС; механіко-технологічне обґрунтування процесів адаптованого застосування машини для збирання коренеплодів; розробка технологічних схем, способів побудови робочих органів базових ТТС і АКМ у цілому з обґрунтованими раціональними конструктивно-кінематичними параметрами; розробка компонентних схем розташування системи адаптованих змінних робочих органів у технологічному процесі роботи АКМ.

4.2. Визначено, що обґрунтування раціональних типів системи адаптованих ВРО і ОРО та структури відповідних технологічно-компонувальних схем АКМ може бути виконано на основі математичного моделювання, або прогнозування вірогідних характеристик основних параметрів коренеплодів з врахуванням множини зовнішніх умов протікання технологічного процесу викопування коренеплодів і відокремлення домішок з складу поступаючого вороху.

5.2. Використання АКМ, конструктивно-компонувальні схеми яких побудовано на основі застосування адаптованих ВРО і ОРО, значно розширить терміни роботи АКМ на протязі року шляхом збирання коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М однією АКМ при стабільних агротехнічних показниках якості роботи, що призведе до зростання техніко-економічної ефективності виробництва коренеплодів загалом.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ АДАПТОВАНОЇ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

3.1. Математична модель інтенсифікації технологічного процесу відокремлення домішок від коренеплодів

У загальному контексті ВК, який викопується АВТОКРО із ґрунтово-коренеплідного середовища, в якому знаходяться коренеплоди та доволі значна кількість (4...10 кг/п. м) вільних і зв'язаних з коренеплодами ґрунтових і рослинних домішок, очищується за допомогою різних типів очисників [1]. Очищення ВК від домішок (відокремлення домішок від коренеплодів, є однією з важливих і складних у технологічному плані операцій збирання коренеплодів, яку виконують АВТОКРО будь-якої компоновальної схеми АКМ.

Складність очищення ВК функціонально пов'язана з необхідністю відокремлення різних за своїми фізико-механічними станами та властивостями ґрунтових і рослинних домішок, які знаходяться відносно коренеплодів у вільному та зв'язаному стані.

Вільний стан ґрунтових домішок передбачає наявність вільного сипучого ґрунту, вільних мілких (20...50 мм) і достатньо крупних (до 100 мм) грудок ґрунту, а вільний стан рослинних домішок – наявність вільної втраченої гички гичкозбиральною машиною і рослинних домішок, або наявних бур'янів. Зв'язаний стан домішок – це налиплий ґрунт на поверхні тіла коренеплодів і залишки гички на головках коренеплодів, які залишаються після зрізування основного масиву гички.

Тому для забезпечення необхідного очищення ВК, або якості продукту збирання (не більше 8...10 % домішок відносно маси коренеплодів) потрібно передбачувати різні види фізико-механічних взаємодій і, як наслідок – багато-критеріальні варіанти (схеми) комбінування різних типів очисників доволі значної протяжності (8...14 м) та значного шляху очищення домішок [1, 167].

Функціональна схема інтенсифікації процесу відокремлення домішок від коренеплодів робочими органами АКМ (рис. 3.1) передбачає основні три стадії та один заключний етапи очищення викопаного ВК від домішок: стадія інтенсифікації очищення викопаного ВК від домішок у процесі його викопування робочими органами АВТОКРО; відокремлення дрібних вільних домішок у процесі їх переміщення з'єднувальною ланкою ТТС, яка розташована між АВТОКРО і АТОКРО; стадія інтенсифікації відокремлення домішок від ВК у процесі його очищення робочими органами АТОКРО; кінцевий етап відокремлення дрібних вільних домішок у процесі завантаження коренеплодів робочими органами вивантажувальним пристроєм (ВП) [226].

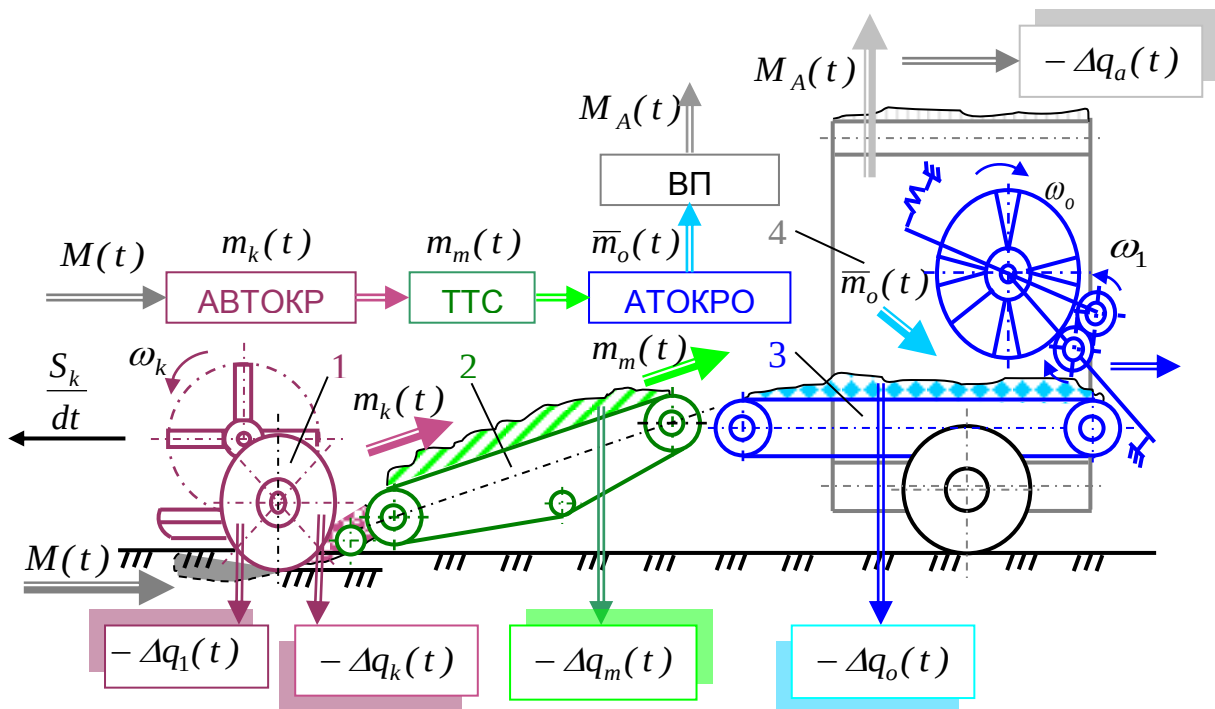


Рис. 3.1. Функціональна схема інтенсифікації процесу відокремлення домішок від ВК робочими органами ТТС АКМ:

1 – АВТОКРО; 2 – ТТС; 3 – АТОКРО; 4 – вивантажувальний пристрій

Для побудови детермінованої математичної моделі технологічного процесу інтенсифікації відокремлення домішок від ВК ТТС АКМ змодельємо функціональний процес роботи АКМ у вигляді складної динамічної технічної системи (ДТС). Ланкова блок-схема інтенсифікації процесу відокремлення домішок від ВК робочими органами ТТС АКМ наведена на рис. 3.2.

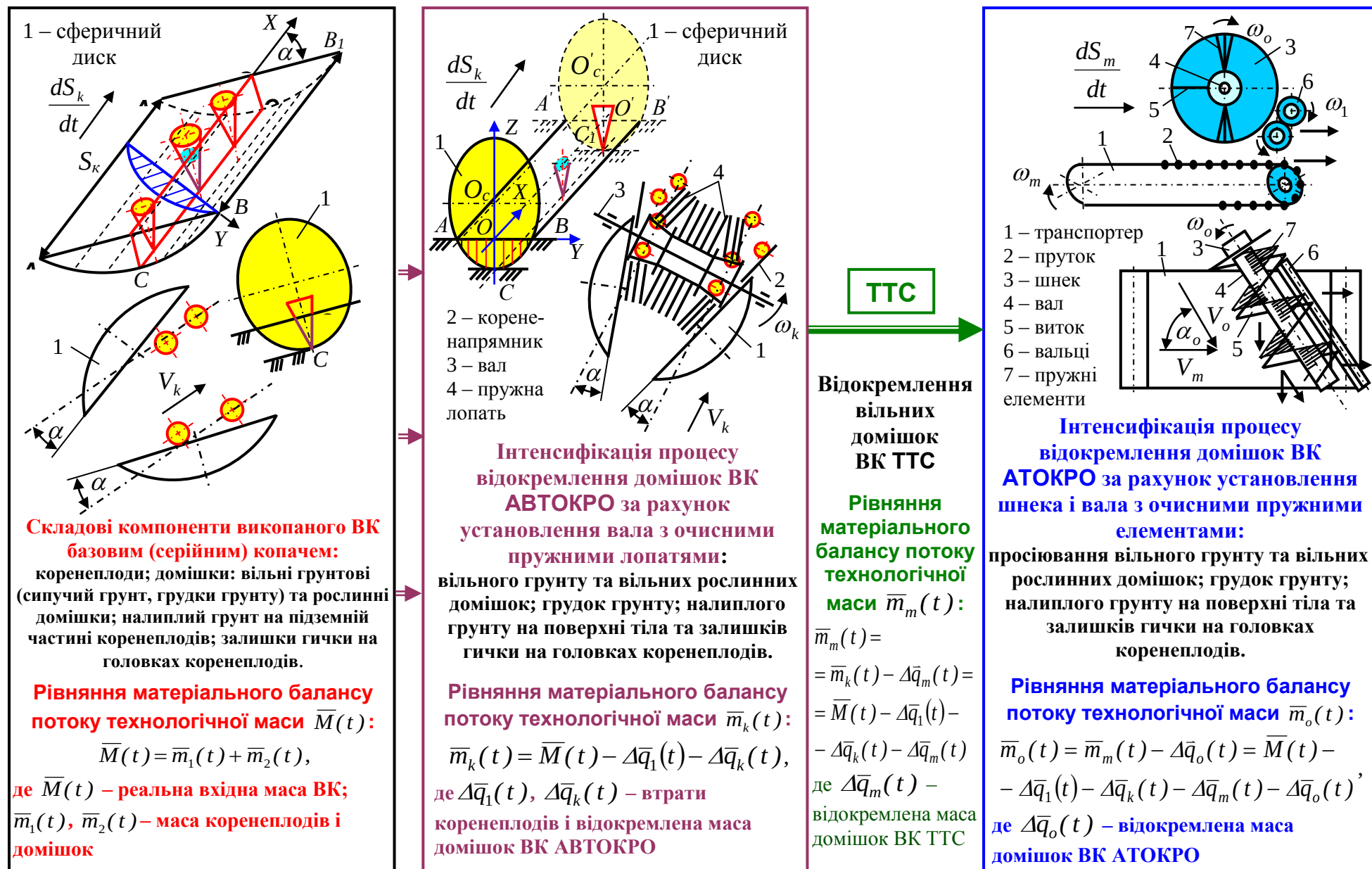


Рис. 3.2. Ланкова блок-схема інтенсифікації процесу відокремлення домішок від ВК робочими органами ТТС АКМ

Вважаємо, що перед початком викопування коренеплодів АКМ вхідна маса ВК, яка зв'язана з часом t і шириною захвату АВТОКРО b_3 , або з адекватною кількістю рядків N_k , що викопуються одночасно становить $M(t)$ та складається із суми вхідної маси коренеплодів $m_1(t)$ та сумарної маси домішок $m_2(t)$.

Приймаємо базове припущення, що маса коренеплодів $m_1(t)$ у процесі їх переміщення робочими органами АКМ змінюється тільки під час викопування АВТОКРО (втрати), а складовими компонентами $m_2(t)$ є вільні та зв'язані з коренеплодами сумарні ґрунтові $m_p(t)$ та сумарні рослинні $m_r(t)$ домішки.

У загальному контексті на основі балансу мас зміна загальної подачі вхідної маси ВК $M(t)$ на робочі органи АВТОКРО протягом часу t описується тотожністю

$$\frac{dM}{dt} = \frac{dm_1}{dt} + \frac{dm_2}{dt} = \frac{dm_1}{dt} + \frac{d(m_p + m_r)}{dt} = \frac{dm_1}{dt} + \frac{d(m_{1p} + m_{2p} + m_{3p} + m_{1r} + m_{2r})}{dt}, \quad (3.1)$$

де m_1 , m_2 – вхідна маса коренеплодів і домішок, які викопуються робочими органами АВТОКРО;

m_p , m_r – вхідна маса сумарних ґрунтових і рослинних домішок;

m_{1p} , m_{2p} , m_{3p} – вхідна маса вільного сипучого ґрунту, грудок ґрунту та налиплого ґрунту на підземній частині коренеплодів;

m_{1r} , m_{2r} – вхідна маса вільних рослинних домішок і залишків гички на головках коренеплодів.

Аналіз та синтез функціонального процесу інтенсифікації відокремлення домішок від ВК ДТС проведемо на основі системного підходу, який дає можливість розв'язати проблему побудови складної ДТС з урахуванням всіх факторів і можливостей, які пропорційні їх значимості на всіх етапах дослідження системи та побудови її моделі.

Побудова моделі ДТС належить до числа системних задач, під час рішення яких синтезують розв'язки на основі прийняття великої кількості початкових умов.

Використання системного підходу в цих умовах дозволяє не тільки побудувати модель реальної системи, але й на базі цієї моделі вибрати необхідну кількість інформації для керування системою, оцінити її показники якості роботи технологічного процесу і тим самим на базі моделювання знайти найбільш ефективний варіант побудови та оптимальний режим функціонування ДТС.

Побудову математичної моделі функціонування ДТС, яку розглянемо у вигляді деякого символічного оператора, або деяких передавальних функцій першого порядку, що забезпечують відповідні сукупні функціональні зв'язки її внутрішніх $a_1, a_2, \dots, a_m$ і зовнішніх $y_1, y_2, \dots, y_m$ параметрів, проведемо шляхом ідентифікації об'єкта дослідження (технологічного процесу роботи АКМ), або постановки рішення задачі структурної ідентифікації ДТС. У загальному аспекті задача ідентифікації формулюється таким чином: за результатами спостережень (аналізу) за вхідними та вихідними змінними величинами (факторами) ДТС необхідно побудувати її модель процесу, яка передбачає розгляд взаємодії ідентифікованої технічної системи з наявним середовищем (викопаним ВК) і виникаючих при цьому взаємних впливів системи на середовище і навпаки, дія яких відбувається по взаємозв'язаних каналах проходження відповідного впливу змінних величин [227].

Теоретичний аналіз процесу інтенсифікації відокремлення домішок від викопаного ВК адаптованими комбінованими робочими органами АКМ, тобто АВТОКРО, АТОКРО та з'єднувальною ТТС і ВП, які «переробляють» вхідний потік технологічної маси $M(t)$ реалізуємо на основі рівнянь матеріального балансу потоку технологічної маси $M(t)$ шляхом розгляду кібернетичного поняття «вхід-вихід» ДТС [1, 227].

Відомо, що потік вхідної кількості ВК $\bar{M}_i(t)$ лінійно пов'язаний зі швидкістю руху $dS_k / dt = V_k$ та технологічними параметрами (шириною захвату, рядністю) АКМ, а потік вихідної кількості ВК $\bar{m}_i(t)$ кожного етапу очищення викопаного ВК від домішок (рис. 3.1, рис. 3.2) у середньому задовольняє умові балансу з врахуванням потоку відокремленої маси компонентів ВК кожного етапу $\Delta \bar{q}_i(t)$.

Рівняння матеріального балансу зміни потоку технологічної маси протягом часу t кожної стадії інтенсифікації процесу відокремлення домішок від викопаного ВК (рис. 3.2) мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} m_k(t) &= M(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t); \\ m_m(t) &= m_k(t) - \Delta q_m(t) = M(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t); \\ m_o(t) &= m_m(t) - \Delta q_o(t) = M(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t); \\ M_A(t) &= m_o(t) - \Delta q_a(t) = M(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t) - \Delta q_a(t) \end{aligned} \right\}, \quad (3.2)$$

де $M(t)$ – вхідна кількість потоку компонентів ВК після викопування диском;

$m_k(t)$, $m_m(t)$, $m_o(t)$, $M_A(t)$ – вихідна кількість потоку компонентів ВК після роботи АВТОКРО, АТОКРО, ТТС і АТВКРО;

$\Delta q_k(t)$, $\Delta q_m(t)$, $\Delta q_o(t)$, $\Delta q_a(t)$ – відокремлена кількість потоку домішок ВК робочими органами АВТОКРО, АТОКРО, ТТС і ВП;

$\Delta q_1(t)$ – кількість втраченого потоку коренеплодів робочими органами АВТОКРО.

Тоді згідно з (3.1), (3.2) вихідне початкове диференціальне рівняння матеріального балансу зміни вихідного потоку технологічної маси ДТС протягом часу t , або процесу інтенсифікації відокремлення домішок ВК робочими органами кожної ТТС і АКМ загалом має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dm_k}{dt} &= \frac{dM}{dt} - \frac{d(\Delta q_1 - \Delta q_k)}{dt}; \\ \frac{dm_m}{dt} &= \frac{dm_k}{dt} - \frac{d\Delta q_m}{dt} = \frac{dM}{dt} - \frac{d(\Delta q_1 + \Delta q_k)}{dt} - \frac{d\Delta q_m}{dt}; \\ \frac{dm_o}{dt} &= \frac{dm_m}{dt} - \frac{d\Delta q_o}{dt} = \frac{dM}{dt} - \frac{d(\Delta q_1 + \Delta q_k)}{dt} - \frac{d\Delta q_m}{dt} - \frac{d\Delta q_o}{dt}; \\ \frac{dM_A}{dt} &= \frac{dm_o}{dt} - \frac{d\Delta q_a}{dt} = \frac{dM}{dt} - \frac{d(\Delta q_1 + \Delta q_k)}{dt} - \frac{d\Delta q_m}{dt} - \frac{d\Delta q_o}{dt} - \frac{d\Delta q_a}{dt} \end{aligned} \right\}, \quad (3.3)$$

або враховуючи складові компоненти ВК і компоненти домішок ВК

$$\begin{aligned} \frac{dM_A}{dt} &= \frac{d(m_1 + m_2)}{dt} - \frac{d(\Delta q_1 + \Delta q_{1pk} + \Delta q_{2pk} + \Delta q_{3pk} + \Delta q_{1pk} + \Delta q_{2pk})}{dt} - \\ &- \frac{d(\Delta q_{1po} + \Delta q_{2po} + \Delta q_{3po} + \Delta q_{1po} + \Delta q_{2po})}{dt} - \frac{d(\Delta q_{1pm} + \Delta q_{1pm})}{dt} - \frac{d(\Delta q_{1pa} + \Delta q_{1pa})}{dt}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де $\Delta q_{1\rho k}$, $\Delta q_{2\rho k}$, $\Delta q_{3\rho k}$, Δq_{1pk} , Δq_{2pk} ; $\Delta q_{1\rho o}$, $\Delta q_{2\rho o}$, $\Delta q_{3\rho o}$, Δq_{1po} , Δq_{2po} – відокремлена маса вільного ґрунту, грудок ґрунту, налиплого ґрунту на підземній частині коренеплодів, вільних рослинних домішок, залишків гички на головках коренеплодів від ВК: АВТОКРО; АТОКРО;

$\Delta q_{1\rho m}$, Δq_{1pm} – відокремлена маса вільного ґрунту, вільних рослинних домішок від ВК ТТС;

$\Delta q_{1\rho a}$, Δq_{1pa} – відокремлена кількість вільного ґрунту, вільних рослинних домішок від ВК ВП;

Δq_1 – втрачена маса коренеплодів під час роботи АВТОКРО.

Загальна інтенсифікація ефективності очищення ВК зі збільшенням подачі ВК $M_i(t)$ за рахунок підвищення швидкості руху АКМ V_k , або збільшення ширини захвату b_z (або відповідно кількості рядків N_k) суттєво не відрізняється одна від одної, а в деяких випадках (відповідних умовах роботи) доволі подібна. Але завжди існує одна закономірність – із збільшенням V_k очисний технологічний ефект спочатку погіршується у зв'язку зі збільшенням кількості подачі потоку ВК $M_i(t)$, а потім за мірою підвищення та стабілізації динамічного ефекту процесу роботи копачів монотонно зростає до певної збалансованої технологічної межі [1, 208].

Завантаження АКМ, або її окремих робочих органів ТТС вхідною масою ВК залежить від основних чотирьох узагальнених змінних факторів: функцій конструктивно-кінематичних параметрів адаптованих комбінованих робочих органів ТТС; фізико-механічних властивостей ґрунту; геометричних форм і розмірних характеристик коренеплодів; часом запізнення руху мас ВК, яке обумовлене перш за все накопиченням технологічних мас в робочій зоні та їх зсувом по робочій поверхні кожної ТТС АКМ.

Геометричні форми і розмірні характеристики коренеплодів у загальному контексті характеризують урожайність коренеплодів, яка суттєво залежить від густоти насаджень рослин на період збирання та ширини міжрядь, а останній – ущільнення ВК та його зсув відносно робочої поверхні ТТС АКМ.

Технологічний процес відокремлення домішок від коренеплодів окремої ТТС, або АКМ загалом згідно з положеннями [1, 208] у загальному вигляді описується лінеаризованим диференціальним рівнянням

$$a_0^{(i)} \frac{d[\Delta q_i(t)]}{dt} = b_0^{(i)} m_{\text{ex},i}(t - \tau_i) - c_0^{(i)} m_{\text{ex},i}(t), \quad (3.5)$$

де a_0^i , b_0^i , c_0^i – змінні коефіцієнти в функції параметрів робочих органів ТТС АКМ, фізико-механічних властивостей ґрунту, урожайності коренеплодів, які визначаються експериментальним шляхом;

$\Delta q_i(t)$ – відокремлена кількість потоку матеріалу від вхідного ВК робочими органами ТТС або АКМ кг/с, $i = 1, 2 \dots n$;

τ_i – час запізнення руху потоку мас ВК, с;

$m_{\text{ex},i}(t - \tau_i)$, $m_{\text{ex},i}(t)$ – вхідна та вихідна кількість потоку мас ВК, кг/с.

Тоді на основі цього для будь-якого i -го стабілізованого технологічного режиму роботи ДТС, коли відхилення змінних вхідних факторів (потоків) незначні, технологічний процес роботи ТТС, або АКМ у цілому, які досліджуються способом ідентифікації з врахуванням (3.2), (3.4) та згідно з (3.5) можна описати лінеаризованим диференціальним рівнянням, тобто:

- для інтенсифікації технологічного процесу відокремлення потоку компонентів від викопаного ВК АВТОКРО шляхом часткової втрати потоку коренеплодів $\Delta m_1(t)$ і додаткової динамічної дії пружних очисних лопатей 4 (рис. 3.2) вала 3 на компоненти ВК за рахунок руйнування грудок ґрунту, очищення тіла коренеплодів від налиплого на його поверхні ґрунту та відокремлення залишків гички з головок коренеплодів з наступним просіюванням вільних домішок у процесі переміщення ВК по робочій поверхні одностороннього сферичного диска

$$\begin{aligned} a_1^{(k)} \frac{d[\Delta q_1(t)]}{dt} + a_0^{(k)} \frac{d[\Delta q_k(t)]}{dt} = a_1^{(k)} \frac{d[\Delta q_1(t)]}{dt} + a_{1\rho}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{1\rho k}(t)]}{dt} + a_{2\rho}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{2\rho k}(t)]}{dt} + \\ + a_{3\rho}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{3\rho k}(t)]}{dt} + a_{1p}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{1pk}(t)]}{dt} + a_{2p}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{2pk}(t)]}{dt} = b_0 M(t - \tau_k) - c_0^{(k)} m_k(t) \end{aligned} ; \quad (3.6)$$

- для процесу відокремлення потоку компонентів від ВК ТТС (рис. 3.1) шляхом просіювання вільних ґрунтових і рослинних домішок:

$$a_0^{(m)} \frac{d[\Delta q_m(t)]}{dt} = a_{1p}^{(m)} \frac{d[\Delta q_{1pm}(t)]}{dt} + a_{1p}^{(m)} \frac{d[\Delta q_{1pm}(t)]}{dt} = b_0^{(k)} m_k(t - \tau_m) - c_0^{(m)} m_m(t); \quad (3.7)$$

- для інтенсифікації технологічного процесу відокремлення потоку компонентів від ВК АТОКРО шляхом додаткової динамічної дії пружних очисних елементів 7 (рис. 3.2) вала 4, витків 5 шнека 3 та відминальних вальців 6 на компоненти ВК за рахунок очищення тіла коренеплодів від налиплого на його поверхні ґрунту, руйнування грудок ґрунту та відокремлення залишків гички з головок коренеплодів з наступним просіюванням дрібних домішок через зазор між прутками 2 транспортера 1 або винесенням ним домішок за межі АКМ:

$$a_0^{(o)} \frac{d[\Delta q_o(t)]}{dt} = a_{1p}^{(o)} \frac{d[\Delta q_{1po}(t)]}{dt} + a_{2p}^{(o)} \frac{d[\Delta q_{2po}(t)]}{dt} + a_{3p}^{(o)} \frac{d[\Delta q_{3po}(t)]}{dt} + a_{1p}^{(o)} \frac{d[\Delta q_{1po}(t)]}{dt} + a_{2p}^{(o)} \frac{d[\Delta q_{2po}(t)]}{dt} = b_0^{(m)} m_m(t - \tau_o) - c_0^{(o)} m_o(t); \quad (3.8)$$

- для технологічного процесу відокремлення потоку компонентів від ВК ВП шляхом просіювання вільних ґрунтових і рослинних домішок:

$$a_0^{(a)} \frac{d[\Delta q_a(t)]}{dt} = a_{1p}^{(a)} \frac{d[\Delta q_{1po}(t)]}{dt} + a_{1p}^{(a)} \frac{d[\Delta q_{1po}(t)]}{dt} = b_0^{(o)} m_o(t - \tau_a) - c_0^{(a)} M_A(t); \quad (3.9)$$

- для інтенсифікації технологічного процесу відокремлення потоку компонентів від ВК АКМ загалом шляхом додаткової динамічної дії пружних чисних лопатей 4 (рис. 3.2) вала 3 АВТОКРО 1 (рис. 3.1) на компоненти ВК за рахунок очищення тіла коренеплодів від налиплого на його поверхні ґрунту, руйнування грудок ґрунту та відокремлення залишків гички з головок коренеплодів, а також шляхом додаткової динамічної дії пружних очисних елементів 7 (рис. 3.2) вала 4, витків 5 шнека 3 та відминальних вальців 6 АТОКРО 3 (рис. 3.1) на компоненти ВК за рахунок очищення тіла коренеплодів від налиплого на його поверхні ґрунту, руйнування грудок ґрунту та відокремлення залишків гички з

головок коренеплодів і просіюванням дрібних домішок через зазор між прутками 2 транспортера 1 або винесенням ним домішок за межі АКМ:

$$\begin{aligned}
 & a_1^{(k)} \frac{d[\Delta q_1(t)]}{dt} + a_0^{(M)} \frac{d[\Delta q_M(t)]}{dt} = \\
 & = a_1^{(k)} \frac{d[\Delta q_1(t)]}{dt} + a_0^{(k)} \frac{d[\Delta q_k(t)]}{dt} + a_0^{(m)} \frac{d[\Delta q_m(t)]}{dt} + a_0^{(o)} \frac{d[\Delta q_o(t)]}{dt} + a_0^{(a)} \frac{d[\Delta q_a(t)]}{dt} = \\
 & = a_1^{(k)} \frac{d[\Delta q_1(t)]}{dt} + a_{1\rho}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{1\rho k}(t)]}{dt} + a_{2\rho}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{2\rho k}(t)]}{dt} + a_{3\rho}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{3\rho k}(t)]}{dt} + a_{1p}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{1pk}(t)]}{dt} + \\
 & + a_{2p}^{(k)} \frac{d[\Delta q_{2pk}(t)]}{dt} + a_{1\rho}^{(m)} \frac{d[\Delta q_{1\rho m}(t)]}{dt} + a_{1p}^{(m)} \frac{d[\Delta q_{1pm}(t)]}{dt} + a_{1\rho}^{(o)} \frac{d[\Delta q_{1\rho o}(t)]}{dt} + a_{2\rho}^{(o)} \frac{d[\Delta q_{2\rho o}(t)]}{dt} + \\
 & + a_{3\rho}^{(o)} \frac{d[\Delta q_{3\rho o}(t)]}{dt} + a_{1\rho}^{(a)} \frac{d[\Delta q_{1\rho a}(t)]}{dt} + a_{2p}^{(a)} \frac{d[\Delta q_{2pa}(t)]}{dt} + a_{1p}^{(a)} \frac{d[\Delta q_{1pa}(t)]}{dt} = \\
 & = b_0 M(t - \tau_k) - c_0^{(k)} m_k(t) + b_0^{(k)} m_k(t - \tau_m) - c_0^{(m)} m_m(t) + \\
 & + b_0^{(m)} m_m(t - \tau_o) - c_0^{(o)} m_o(t) + b_0^{(o)} m_o(t - \tau_a) - c_0^{(a)} M_A(t)
 \end{aligned} \quad (3.10)$$

де $a_1^{(k)}, a_0^{(k)}, a_0^{(m)}, a_0^{(o)}, a_0^{(a)}, b_0, b_0^{(k)}, b_0^{(m)}, b_0^{(o)}, c_0^{(k)}, c_0^{(m)}, c_0^{(o)}, c_0^{(a)}; a_{1\rho}^{(k)}, a_{2\rho}^{(k)}, a_{3\rho}^{(k)}, a_{1p}^{(k)}, a_{2p}^{(k)}; a_{1\rho}^{(m)}, a_{1p}^{(m)}; a_{1\rho}^{(o)}, a_{2\rho}^{(o)}, a_{3\rho}^{(o)}, a_{1p}^{(o)}, a_{2p}^{(o)}; a_{1\rho}^{(a)}, a_{1p}^{(a)}$ – змінні коефіцієнти в функції параметрів робочих органів АКМ: АВТОКРО; ТТС; АТОКРО; ВП, фізико-механічних властивостей ґрунту, урожайності коренеплодів тощо, які визначаються експериментальним шляхом;

$\tau_k, \tau_m, \tau_o, \tau_a$ – час запізнення руху мас ВК у процесі роботи, яке відбувається за рахунок накопичення, ущільнення, зсуву тощо технологічних мас ВК у робочій зоні, відповідно, кожної ТТС та АКМ загалом, с.

Одержані лінеаризовані диференціальні рівняння (3.6)-(3.10) є детермінованими математичними моделями, які характеризують залежність зміни інтенсифікації технологічного процесу відокремлення потоку компонентів від викопаного ВК протягом часу від конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів ТТС і АКМ загалом та їх умов роботи, до яких (умов) згідно з термінологією ДСТУ [228, 229] та технічних і наукових видань відносяться режими роботи ТТС і АКМ, агротехнічні та фізико-механічні характеристики коренеплодів і фізико-механічні властивості ґрунту.

У багатьох задачах математичного аналізу розглядаються випадки, в яких кожна точка одного простору ставиться у відповідність деякій точці іншого (або того ж самого) простору. Відповідність між двома точками встановлюється за допомогою перетворення або оператора [230].

Тому, розв'язування задачі структурної ідентифікації ДТС проведемо методом теорії систем автоматичного керування, яка найбільш придатна для дослідження керованих ДТС у режимі практичного застосування, або в режимі експлуатації об'єкту з наявною дією випадкових процесів і факторів [230].

Для простішого розв'язку лінійних диференціальних рівнянь (3.6)-(3.10) застосовуємо метод в операторній формі, який базується на перетворенні функцій дійсної змінної у функції комплексної змінної, при цьому метод функціонального перетворення дозволяє замінити лінійні диференціальні рівняння (3.6)-(3.10) на алгебраїчні, а для переходу від функції дійсної змінної до функції комплексної змінної застосовується пряме та зворотне перетворення Лапласа, яке у загальному випадку описується рівняннями [201, 231]

$$W(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt; \quad f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} W(s)e^{ts} ds, \quad (3.11)$$

де $s = c + i\varepsilon$ – комплексна змінна, або оператор (функція) Лапласа;

c, ε – дійсні змінні оригіналу (функції) $f(t) \leq ce^{\alpha t}$, $c > 0$, $\alpha \geq 0$, $t > 0$, $W_{aj}(s) \rightarrow 0$, $c = \operatorname{Re} s \rightarrow \infty$, $s > \alpha$, $e \in R$.

Для цього проведемо ідентифікацію загальної функціональної (рис. 3.1) та ланкової блок-схеми (рис. 3.2) інтенсифікації технологічного процесу відокремлення домішок від ВК ТТС АКМ.

На першому етапі згідно з наведеною на рис. 3.1 реалізацією процесу роботи АКМ побудуємо формалізовану структурно-функціональну модель послідовного з'єднання структурних елементарних ланок ТТС АКМ, яку наведено на рис. 3.3.

При цьому необхідно акцентувати, що ступінь інтенсифікації відокремлення домішок у загальному залежить від певної вагової об'ємної ємності кожної ТТС АКМ та часу знаходження ВК на робочих поверхнях кожної ТТС АКМ [2].

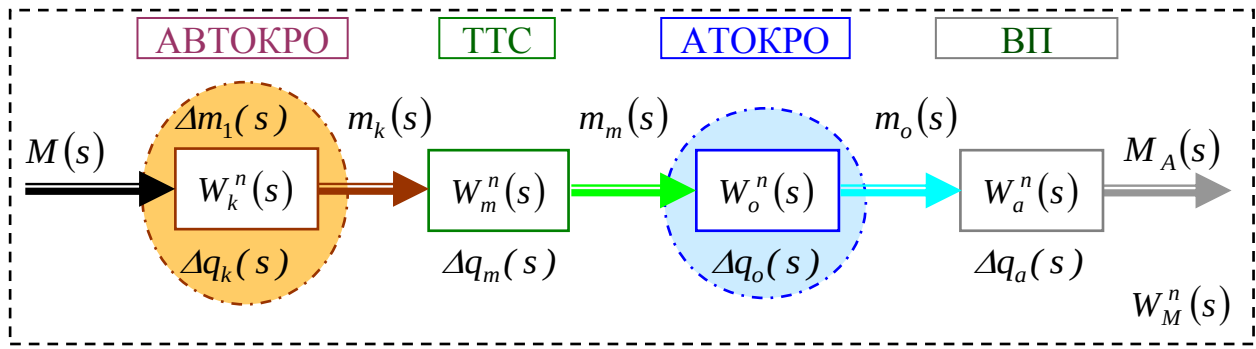


Рис. 3.3. Вихідна структурно-функціональна модель
з'єднання ланок ТТС АКМ

Тоді, застосувавши перетворення Лапласа (3.11) та враховуючи в першому наближенні послідовний спосіб з'єднання структурних ланок, їх еквівалентну передавальну функцію кожної ТТС і АКМ загалом, яку позначимо через $W_M^n(s)$ (рис. 3.3) під час інтенсифікації процесу відокремлення домішок від ВК згідно з [231] можна записати у вигляді добутку (Д) аналітичних передавальних функцій $W_i^n(s)$ відповідних ланок АВТОКРО, ТТС, АТОКРО і ВП, що утворюють це послідовне з'єднання, тобто

$$W_M^n(s) = \prod_{i=1}^n W_i^n(s); W_i^n(s) = \frac{m_{\text{вих}.i}(s)}{m_{\text{вх}.i}(s)} = \frac{1}{T_i s + 1}, \quad (3.12)$$

де $m_{\text{вих}.i}(s)$, $m_{\text{вх}.i}(s)$ – зображення за Лапласом вихідної та вхідної величини відповідної ТТС АКМ;

T_i – стала часу відповідної ТТС АКМ.

У нашому випадку стала часу T_i є адекватна часу знаходження ВК на робочих поверхнях кожної ТТС АКМ, або часу знаходження в певній ваговій ємності кожної ТТС АКМ. Певна вагова ємність кожної ТТС АКМ буде характеризуватися кількістю оброблювального в ній ВК, який знаходиться в на робочих поверхнях кожної ТТС, або – адекватною відповідною ваговою пропускною здатністю кожної ТТС АКМ, яку позначимо через P_i .

Тоді час знаходження ВК на робочих поверхнях кожної ТТС АКМ, або стала часу T_i може бути визначена, як відношення пропускної здатності P_i до відповідної кількості оброблюваного вхідного потоку ВК $m_{\text{вх}.i}(t)$.

Час знаходження ВК на робочих поверхнях кожної ТТС АКМ, або стала часу, яку позначимо через T_i з врахуванням (3.1)-(3.4) визначається як

$$\left. \begin{aligned} T_k &= \frac{P_k}{M(t)} = \frac{P_k}{m_1(t) + m_2(t)}; \\ T_m &= \frac{P_m}{m_k(t)} = \frac{P_m}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t)}; \\ T_o &= \frac{P_o}{m_m(t)} = \frac{P_o}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t)}; \\ T_a &= \frac{P_a}{m_o(t)} = \frac{P_a}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t)} \end{aligned} \right\}, \quad (3.13)$$

де T_k , T_m , T_o , T_a – відповідно, час знаходження ВК на робочих поверхнях, або стала часу АВТОКРО, ТТС, АТОКРО, ВП, с;

P_k , P_m , P_o , P_a – вагова ємність АВТОКРО, ТТС, АТОКРО, ВП, кг.

Аналогічно (3.13) час знаходження ВК на робочих поверхнях АКМ загалом, або стала часу T_M АКМ визначається відношенням

$$T_M = \frac{P_M}{M(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{M(t)} = \frac{P_k + P_m + P_o + P_a}{m_1(t) + m_2(t)}. \quad (3.14)$$

Підставивши значення сталої часу T_i кожної ТТС у тотожність (3.13) одержимо рівняння передавальної функції в операторній формі:

- для кожної ТТС (рис. 3.3)

$$\left. \begin{aligned} W_k^n(s) &= \frac{m_k(s)}{M(s)} = \frac{1}{T_k s + 1} = \left\{ \left[\frac{P_k}{m_1(t) + m_2(t)} \right] s + 1 \right\}^{-1}; \\ W_m^n(s) &= \frac{m_m(s)}{m_k(s)} = \frac{1}{T_m s + 1} = \left\{ \left[\frac{P_m}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t)} \right] s + 1 \right\}^{-1}; \\ W_o^n(s) &= \frac{m_o(s)}{m_m(s)} = \frac{1}{T_o s + 1} = \left\{ \left[\frac{P_o}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t)} \right] s + 1 \right\}^{-1}; \\ W_a^n(s) &= \frac{M_A(s)}{m_o(s)} = \frac{1}{T_a s + 1} = \left\{ \left[\frac{P_a}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t)} \right] s + 1 \right\}^{-1} \end{aligned} \right\}; \quad (3.15)$$

- для АКМ загалом, враховуючи положення, що згідно з (3.12)

$$W_M^n(s) = \prod_{i=1}^n W_i^n(s)$$

$$\begin{aligned} W_M^n(s) &= [W_k^n(s)] \cdot [W_m^n(s)] \cdot [W_o^n(s)] \cdot [W_a^n(s)] = \\ &= \left[\frac{m_k(s)}{M(s)} \right] \cdot \left[\frac{m_m(s)}{m_k(s)} \right] \cdot \left[\frac{m_o(s)}{m_n(s)} \right] \cdot \left[\frac{M_A(s)}{m_o(s)} \right] = \left[\frac{1}{T_k s + 1} \right] \cdot \left[\frac{1}{T_m s + 1} \right] \cdot \left[\frac{1}{T_o s + 1} \right] \cdot \left[\frac{1}{T_a s + 1} \right] = \\ &= \left[\left(\frac{P_k}{m_1(t) + m_2(t)} \right) s + 1 \right]^{-1} \times \left[\left(\frac{P_m}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t)} \right) s + 1 \right]^{-1} \times \\ &\times \left[\left(\frac{P_o}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t)} \right) s + 1 \right]^{-1} \times \\ &\times \left[\left(\frac{P_a}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t)} \right) s + 1 \right]^{-1} \end{aligned} \quad (3.16)$$

або в загальному спрощеному вигляді

$$W_M^n(s) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{m_{\text{aux},i}(s)}{m_{\text{ex},i}(s)} \right] = \prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{T_i s + 1} \right) = \prod_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_i}{m_{\text{ex},i}(t)} s + 1 \right) \right]^{-1}. \quad (3.17)$$

Якщо формалізувати функціональний процес інтенсифікації відокремлення домішок ВК АКМ (рис. 3.1) у вигляді однієї сумарної ланки, тоді рівняння передавальної функції в операторній формі має вигляд:

$$W_M^n(s) = \left[\frac{\overline{M}_A(s)}{\overline{M}(s)} \right] = \frac{1}{T_M s + 1} = \left[\left(\frac{P_k + P_m + P_o + P_a}{m_1(t) + m_2(t)} \right) s + 1 \right]^{-1}. \quad (3.18)$$

Тоді диференціальне рівняння структурно-функціональної моделі (рис. 3.3) структурної ланки АВТОКРО в операторній формі згідно з (3.15) має вигляд:

$$m_k(s) \cdot \left(\frac{P_k}{m_1(t) + m_2(t)} s + 1 \right) = m_k(s) \cdot \left(\frac{P_k}{m_1(t) + m_2(t)} \right) s + m_k(s) = M(s). \quad (3.19)$$

Відповідно, для структурних ланок ТТС, АТОКРО, ВП згідно з (3.15)

$$\left. \begin{aligned} m_m(s) \cdot \left(\frac{P_k}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t)} \right) s + m_m(s) &= m_k(s); \\ m_o(s) \cdot \left(\frac{P_o}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t)} \right) s + m_o(s) &= \bar{m}_m(s); \\ M_A(s) \cdot \left(\frac{P_a}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t)} \right) s + M_A(s) &= m_o(s) \end{aligned} \right\}. \quad (3.20)$$

Відповідно, для структурних ланок АКМ у цілому згідно з (3.16), (3.17)

$$\prod_{i=1}^n \bar{m}_{\text{вх},i}(s) \cdot \prod_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_i}{m_{\text{вх},i}(t)} \right) s \right] + \prod_{i=1}^n [m_{\text{вх},i}(s)] = \prod_{i=1}^n \bar{m}_{\text{вх},i}(s), \quad (3.21)$$

або згідно з (3.18) у формалізованому вигляді

$$M_A(s) \left(\frac{P_k + P_m + P_o + P_a}{m_1(t) + m_2(t)} \right) s + M_A(s) = M(s). \quad (3.22)$$

Тоді диференціальні рівняння (3.19)-(3.22) інтенсифікації технологічного процесу відокремлення домішок від ВК ТТС АКМ з транспортним запізненням у класичній (часовій) формі згідно з (3.5) матимуть вигляд:

- для АВТОКРО, ТТС, АТОКРО, ВП

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{P_k}{m_1(t) + m_2(t)} \right) \frac{d[m_k(t)]}{dt} &= M(t - \tau_k) - m_k(t); \\ \left(\frac{P_k}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t)} \right) \frac{d[m_m(t)]}{dt} &= m_k(t - \tau_m) - m_m(t); \\ \left(\frac{P_o}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t)} \right) \frac{d[m_o(t)]}{dt} &= m_m(t - \tau_o) - m_o(t); \\ \left(\frac{P_a}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t)} \right) \frac{d[M_A(t)]}{dt} &= m_o(t - \tau_a) - M_A(t) \end{aligned} \right\}; \quad (3.23)$$

- для АКМ загалом

$$\prod_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_i}{m_{\text{вх},i}(t)} \right) \right] \frac{d \left[\prod_{i=1}^n m_{\text{вх},i}(t) \right]}{dt} = \prod_{i=1}^n m_{\text{вх},i} \left(t - \sum_{i=1}^n \tau_i \right) - \prod_{i=1}^n m_{\text{вх},i}(t); \quad (3.24)$$

$$\left(\frac{P_k + P_m + P_o + P_a}{m_1(t) + m_2(t)} \right) \frac{d[M_A(t)]}{dt} = M(t - \tau_M) - M_A(t). \quad (3.25)$$

Крім того, формалізований технологічний процес роботи АКМ передбачає вузол розгалуження структурних ланок ТТС АКМ на окремі елементарні ланки загальних ґрунтових і рослинних домішок ВК, які в свою чергу розгалужуються на структурні підланки, відповідно: вільного та налиплого ґрунту, грудок ґрунту; вільних рослинних домішок і залишків гички на головках коренеплодів. При цьому в процесі інтенсифікації відокремлення домішок від ВК робочими органами АВТОКРО відбувається руйнування грудок ґрунту та відокремлення налиплого ґрунту з поверхні тіла коренеплодів і залишків гички з головок коренеплодів, а в процесі інтенсифікації відокремлення домішок від ВК робочими органами АТОКРО – руйнування грудок ґрунту (рис. 3.2), які перетворюються, відповідно, у вільні ґрунтові та рослинні домішки, тобто існує пряма вірогідність збільшення кількості вхідного потоку вільних і рослинних домішок, або з точки зору структури керованих ДТС відбувається підсилення вхідної структурної елементарної ланки АВТОКРО і АТОКРО, або існує наявність додатного зворотного зв'язку однієї структурної підланки відносно іншої, тобто одна елементарна підланка охоплюється у вигляді зворотного зв'язку другою елементарною підланкою [227, 231].

Приклад структурної схеми з'єднання підланок АВТОКРО і АТОКРО АКМ, коли одна підланка ТТС охоплюється у вигляді додатного зворотного зв'язку другою підланкою наведена на рис. 1.В.1.1, рис. 2.В.1.1 додатка В.1.1.

На основі цього та проведеної ідентифікації процесу розробки АВТОКРО і АТОКРО (рис. 2.16, рис. 2.20) побудовано кінцеву формалізовану структурно-функціональну модель процесу інтенсифікації відокремлення домішок від ВК робочими органами АКМ, яку наведено на рис. 3.4.

Необхідно акцентувати, що ступінь інтенсифікації відокремлення домішок від ВК залежить не тільки від певної вагової ємності P_i кожної ТТС та часу T_i знаходження ВК на їх робочих поверхнях кожної ТТС АКМ, але також і

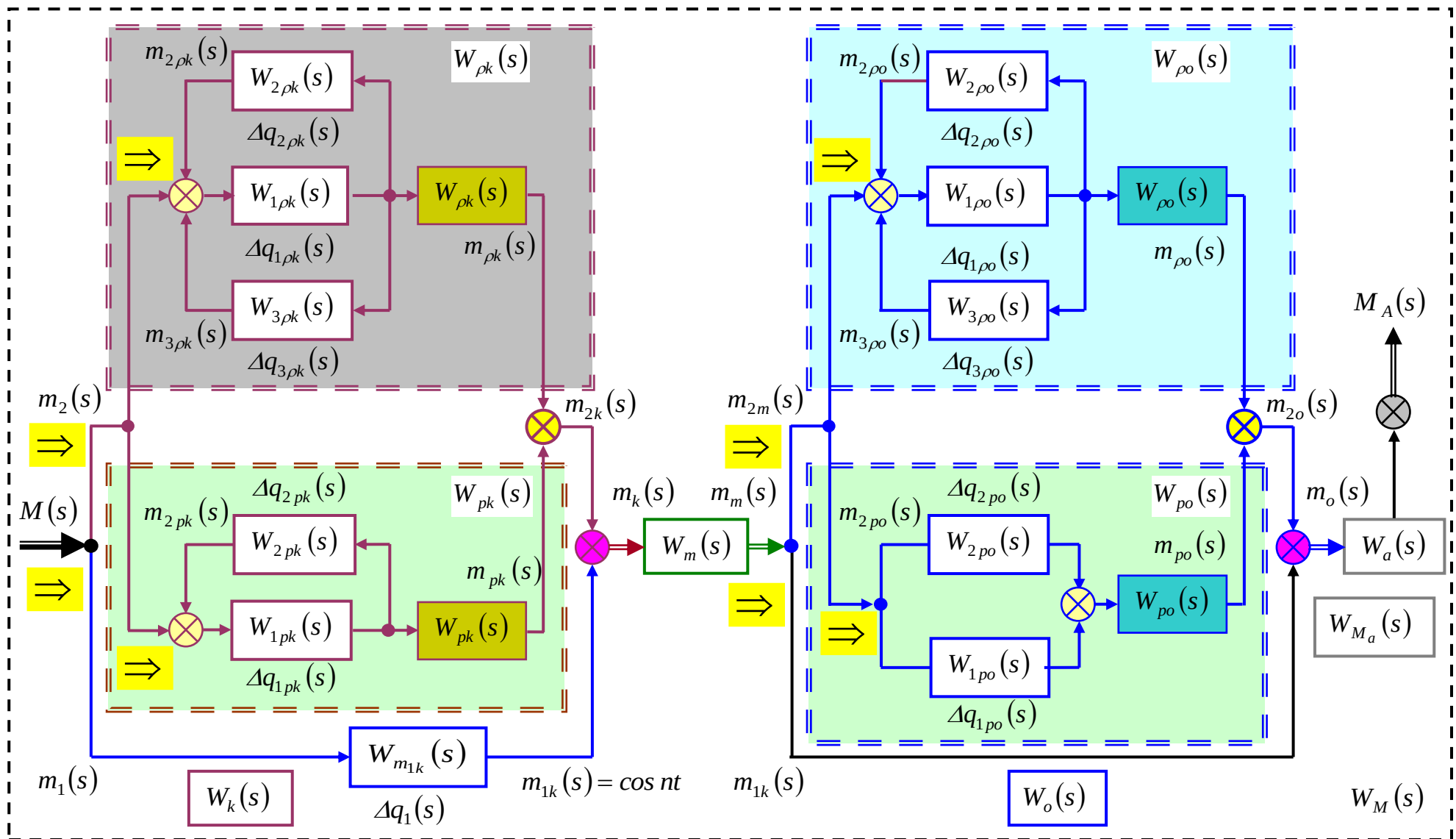


Рис. 3.4. Структурно-функціональна модель процесу інтенсифікації відокремлення домішок від ВК робочими органами TTC АКМ

у значній мірі від коефіцієнта, який враховує ступінь зменшення вихідного потоку технологічної маси ВК відносного його вхідного потоку.

Коефіцієнт, який враховує ступінь зменшення вихідного потоку технологічної маси ВК відносного його вхідного потоку кожної ТТС і АКМ загалом з точки зору керованих ДТС є коефіцієнтом підсилення, який охарактеризуємо як коефіцієнт технологічної ефективності роботи кожної ТТС і АКМ загалом та який позначимо через $K_i = m_{\text{вх},i}(t) / m_{\text{вх},i}(t)$ [231].

Тоді коефіцієнт технологічної ефективності роботи кожної ТТС з врахуванням (3.1)-(3.4) визначається відношенням

$$\left. \begin{aligned} K_k &= \frac{m_k(t)}{M(t)} = \frac{M(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t)}{M(t)} = 1 - \frac{\Delta q_1(t) + \Delta q_k(t)}{M(t)}; \\ K_m &= \frac{m_m(t)}{m_k(t)} = \frac{m_k(t) - \Delta q_m(t)}{m_k(t)} = 1 - \frac{\Delta q_m(t)}{m_k(t)}; \\ K_o &= \frac{m_o(t)}{m_m(t)} = \frac{m_m(t) - [\Delta q_o(t)]}{m_m(t)} = 1 - \frac{[\Delta q_o(t)]}{m_m(t)}; \\ K_a &= \frac{M_A(t)}{m_o(t)} = \frac{m_o(t) - \Delta q_a(t)}{m_o(t)} = 1 - \frac{\Delta q_a(t)}{m_o(t)} \end{aligned} \right\}, \quad (3.26)$$

де K_k , K_m , K_o , K_a – відповідно, коефіцієнт технологічної ефективності роботи АВТОКРО, ТТС, АТОКРО, ВП;

Аналогічно (3.26) коефіцієнт технологічної ефективності роботи АКМ загалом K_M визначається відношенням

$$\begin{aligned} K_M &= \frac{[M_A(t)]}{[M(t)]} = \\ &= \frac{[M(t)] - [\Delta q_1(t)] - [\Delta q_k(t)] - [\Delta q_m(t)] - [\Delta q_o(t)] - [\Delta q_a(t)]}{[\overline{M}(t)]} = . \quad (3.27) \\ &= 1 - \frac{[\Delta q_1(t)] + [\Delta q_k(t)] + [\Delta q_m(t)] + [\Delta q_o(t)] + [\Delta q_a(t)]}{[M(t)]} \end{aligned}$$

Для проведення подальшого аналізу технологічного процесу інтенсифікації відокремлення домішок від ВК необхідно акцентувати наступне:

- враховуючи динамічні процеси (властивості) керованої ДТС – наявність рухомих мас, або інерційність процесу переміщення потоків ВК по робочих органах ТТС АКМ, їх ланки, які розгалужуються на паралельні підланки у напрямку розгалуження (поділу) $\Rightarrow, \Leftarrow$ (рис. 3.4) представимо у вигляді аперіодичної ланки 1-го порядку (інерційної ланки), яку позначимо через $W_i^p(s)$, при цьому передавальна функція ланки (підланки) визначається за формулою [321]

$$W_i^p(s) = \frac{m_{\text{вх}.i}^p(s)}{m_{\text{вх}.i}^p(s)} = \frac{K_i}{T_i s + 1}; \quad (3.28)$$

- враховуючи наявність розгалуження ланок, або паралельного з'єднання структурних підланок, їх передавальна функція визначається як сума передавальних функцій підланок, що утворюють це з'єднання, тобто

$$W_i(s) = \sum_{i=1}^z W_i^p(s); \quad i = 1, 2 \dots z; \quad (3.29)$$

- враховуючи наявність додатного зворотного зв'язку (у ланці $W_{\rho k}(s)$ підланка $W_{1\rho k}(s)$ охоплюється у вигляді зворотного зв'язку підланкою $W_{2\rho k}(s)$ і $W_{3\rho k}(s)$, у ланці $W_{pk}(s)$ підланка $W_{1\rho k}(s)$ – підланкою $W_{2\rho k}(s)$, у ланці $W_{\rho o}(s)$ підланка $W_{1\rho o}(s)$ – підланкою $W_{2\rho o}(s)$ і $W_{3\rho o}(s)$), їх передавальна функція визначається за формулою

$$W_{iz}(s) = \frac{W_{1i}(s)}{1 + W_{1i}(s) \cdot W_{2i}(s)}; \quad (3.30)$$

- враховуючи запізнення руху технологічних мас в часі τ_i , передавальну функцію в операторній формі з трансформування технологічних потоків $m_i(t)$ кожної ТТС і АКМ в цілому, яку позначимо через $W_i(s)$ під час інтенсифікації процесу відокремлення домішок від ВК, можна представити у вигляді добутку аналітичної передавальної функції аперіодичної ланки 1-го порядку (3.28) та аналітичної передавальної функції ланки з транспортним запізненням, яку позначимо через $W_{\text{зан}.i}(s) = e^{-s\tau}$ [1, 227], тобто

$$W_i(s) = \frac{m_{\text{ex},i}(s)}{m_{\text{ex},i}(s)} = W_i^p(s) \cdot W_{\text{zan},i}(s) = \frac{K_i}{T_i s + 1} e^{-s\tau_i}. \quad (3.31)$$

Підставивши значення коефіцієнта технологічної ефективності роботи K_i з (3.26), (3.27) і сталої часу T_i з (3.13), (3.14) кожної ТТС і АКМ у цілому та з врахуванням тотожності (3.31) одержимо рівняння передавальної функції $W_i(s)$ та диференціальне рівняння з транспортним запізненням кожного структурного елемента ДТС, або кожної ТТС та АКМ загалом в операторній формі, при цьому порядок визначення передавальної функції $W_i(s)$ наведено в додатку В.2.1:

- для структурної транспортної ланки АВТОКРО

$$W_k(s) = \frac{m_k(s)}{M(s)} = \frac{W_{1\rho k}(s) \cdot W_{3\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot [W_{2\rho k}(s) + 1]} + \frac{W_{1pk}(s)}{1 + W_{1pk}(s) \cdot W_{2pk}(s)} + W_{m1k}(s) = \frac{K_k}{T_k s + 1} e^{-s\tau_k}, \quad (3.32)$$

або

$$m_k(s) \left[\frac{P_k}{m_1(t) + m_2(t)} s + 1 \right] = M(s) \cdot \left[1 - \frac{\Delta q_1(t) - \Delta q_k(t)}{M(t)} \right] e^{-s\tau_k}; \quad (3.33)$$

- для структурної транспортної ланки ТТС

$$W_m(s) = \frac{m_m(s)}{m_k(s)} = W_{\rho m}(s) + W_{pm}(s) + W_{mk}(s) = \frac{K_m}{T_m s + 1} e^{-s\tau_m}, \quad (3.34)$$

або

$$m_m(s) \left[\frac{P_m}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t)} s + 1 \right] = m_k(s) \cdot \left[1 - \frac{\Delta q_m(t)}{m_k(t)} \right] e^{-s\tau_m}; \quad (3.35)$$

- для структурної транспортної ланки АТОКРО

$$W_o(s) = \frac{m_o(s)}{m_m(s)} = \frac{W_{1\rho o}(s) \cdot W_{3\rho o}(s)}{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot [W_{2\rho o}(s) + 1]} + W_{1po}(s) + W_{2po}(s) + W_{m1k}(s) = \frac{K_o}{T_o s + 1} e^{-s\tau_o}, \quad (3.36)$$

або

$$m_o(s) \left[\frac{P_o}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t)} s + 1 \right] = \bar{m}_m(s) \cdot \left[1 - \frac{-\Delta q_o(t)}{m_m(t)} \right] e^{-s\tau_o}; \quad (3.37)$$

- для структурної транспортної ланки ВП

$$W_a(s) = \frac{M_A(s)}{m_o(s)} = W_{\rho a}(s) + W_{pa}(s) + W_{1mk}(s) = \frac{K_a}{T_a s + 1} e^{-s\tau_a}, \quad (3.38)$$

або

$$M_A(s) \left[\frac{P_a}{m_1(t) + m_2(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t)} s + 1 \right] = m_o(s) \cdot \left[1 - \frac{-\Delta q_a(t)}{m_o(t)} \right] e^{-s\tau_a}; \quad (3.39)$$

- для транспортної ланки АКМ загалом з врахуванням того, що згідно з

$$(3.12) \quad W_i^p(s) = \prod_{i=1}^n W_i(s)$$

$$\begin{aligned} W_M(s) &= \frac{M_A(s)}{M(s)} = W_k(s) \cdot W_m(s) \cdot W_o(s) \cdot W_a(s) = \\ &= \left[\frac{W_{1\rho k}(s) \cdot W_{3\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot [W_{2\rho k}(s) + 1]} + \frac{W_{1pk}(s)}{1 + W_{1pk}(s) \cdot W_{2pk}(s)} + W_{m1k}(s) \right] \times [W_{\rho m}(s) + W_{pm}(s) + W_{m1k}(s)] \times \\ &\times \left[\frac{W_{1\rho o}(s) \cdot W_{3\rho j}(s)}{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot [W_{2\rho o}(s) + 1]} + W_{1\rho o}(s) + W_{2\rho o}(s) + W_{m1k}(s) \right] \times [W_{\rho a}(s) + W_{pa}(s) + W_{m1k}(s)] = \frac{K_M}{T_M s + 1} e^{-s\tau_M} \end{aligned} \quad (3.40)$$

або

$$M_A(s) \left[\frac{P_k + P_m + P_o + P_a}{m_1(t) + m_2(t)} s + 1 \right] = M(s) \cdot \left[1 - \frac{\Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t) - \Delta q_a(t)}{M(t)} \right] e^{-s\tau_M}. \quad (3.41)$$

Одержані рівняння передавальної функції (3.32)-(3.41) характеризують про те, що робочі органи ТТС АКМ у другому наближенні можна ідентифікувати, як послідовне з'єднання аперіодичних ланок першого порядку та ланок з запізненням руху технологічних мас.

Комплексна оцінка параметрів ТТС і АКМ загалом – відповідних їм коефіцієнта технологічної ефективності K_i , постійної часу T_i та часу запізнення τ_i руху потоків технологічних мас дозволяє проводити більш глибокий та детальний аналіз технологічного процесу інтенсифікації відокремлення домішок

від викопаного ВК і оптимізацію конструктивно-кінематичних параметрів і режимів робіт робочих органів ТТС і АКМ загалом.

Тоді диференціальні рівняння (3.33), (3.35), (3.37), (3.39) і (3.41) інтенсифікації технологічного процесу відокремлення домішок від викопаного ВК ТТС і АКМ загалом з транспортним запізненням у класичній (часовій) формі матимуть вигляд:

- для АВТОКРО, ТТС, АТОКРО, ВП

$$\left. \begin{aligned} P_k \frac{d[m_k(t)]}{dt} &= M(t) \cdot [M(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t)] e^{-s\tau_k} - m_k(t); \\ P_m \frac{d[m_m(t)]}{dt} &= m_k(t) \cdot [m_k(t) - \Delta q_m(t)] e^{-s\tau_m} - m_m(t); \\ P_o \frac{d[m_o(t)]}{dt} &= m_m(t) \cdot [m_m(t) - \Delta q_o(t)] e^{-s\tau_o} - m_o(t); \\ P_a \frac{d[m_a(t)]}{dt} &= m_o(t) \cdot [m_o(t) - \Delta q_a(t)] e^{-s\tau_a} - m_a(t); \end{aligned} \right\}; \quad (3.42)$$

- для АКМ загалом

$$\begin{aligned} (P_k + P_m + P_o + P_a) \frac{d[M_A(t)]}{dt} &= \\ &= M(t) [M(t) - \Delta q_1(t) - \Delta q_k(t) - \Delta q_m(t) - \Delta q_o(t) - \Delta q_a(t)] e^{-s\tau_M} - M(t) \end{aligned} \quad , \quad (3.43)$$

або

$$P_M \frac{d[M_A(t)]}{dt} = M(t) \cdot [M_A(t) \cdot e^{-s\tau_M} - 1]. \quad (3.44)$$

Одержані диференціальні рівняння (3.42)-(3.44) є детермінованими математичними моделями, які характеризують залежність зміни інтенсифікації технологічного процесу відокремлення потоку компонентів від викопаного ВК протягом часу від конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів ТТС і АКМ в цілому та їх умов роботи, до яких (умов) згідно з термінологією ДСТУ [39, 40] та технічних і наукових видань відносяться режими роботи ТТС і АКМ, агротехнічні та фізико-механічні характеристики коренеплодів і фізико-механічні властивості ґрунту.

3.2. Математична модель технологічної ефективності роботи адаптованого викопувального транспортно-очисного комбінованого робочого органу

Технологічна ефективність [232] та експлуатаційні показники технологічного процесу роботи КМ при збиранні коренеплодів характеризується у першу чергу її функціональними показниками якості роботи та продуктивністю (пропускною здатністю) основних ТТС, або спроможністю викопування, транспортування та обробки викопаного вороху коренеплодів без “звантаження” на їх робочих поверхнях при відповідній швидкості руху КМ, або при надходженні до них відповідної кількості вороху, тобто відповідної подачі.

Значна кількість вільного і налиплого на поверхні коренеплодів ґрунту, який викопується робочими органами та подається на наступні ТТС АКМ є основною причиною вимушеного застосування енерго- і металомістких очисників вороху, що вказує на головний резерв удосконалення збиральних машин – інтенсифікацію процесу викопування коренеплодів із максимальним відокремленням від них ґрунтових і рослинних домішок за рахунок застосування адаптованих комбінованих робочих органів [77].

Першою функціональною операцією, від показників якості роботи якої залежить технологічна ефективність роботи АКМ загалом та її основних ТТС є операція викопування та транспортування коренеплодів. Головним критерієм, оцінки технологічної ефективності процесу викопування коренеплодів АВТОКРО 1 (рис. 3.1) є зміна загальної подачі вороху dW_1 / dt , який безпосередньо викопується сферичним диском 2 і зміна подачі вороху dW_2 / dt , який надходить на наступні очисні ТТС АКМ після його викопування за проміжок часу t [233, 234]. У свою чергу зміна подачі вороху dW_2 / dt залежить від конструктивних особливостей та параметрів і режимів роботи АВТОКРО, процес роботи якого характеризується ефективністю технологічного процесу викопування коренеплодів [232].

Для обґрунтування ефективності технологічного процесу викопування коренеплодів АВТОКРО, розглянемо складену схему, рис. 3.5.

У процесі руху АКМ з поступальною робочою швидкістю V_k (рис. 3.5) за час t (с) сферичний диск 1, глибина ходу якого h , проходить шлях $S_k = V_k t$ і вирізає у ґрунті канавку, профіль якої на рівні поверхні ґрунту утворений контуром фігури $AOBCC'B'A'A$, яка обмежена контурами фігур $AOBCA$ та $AOBB'O'A'A$. Конттури фігур $AOBCA$ і $AOBB'O'A'A$ є відповідно площинами перерізу на рівні поверхні ґрунту внутрішнього простору диска та його переміщення за час t .

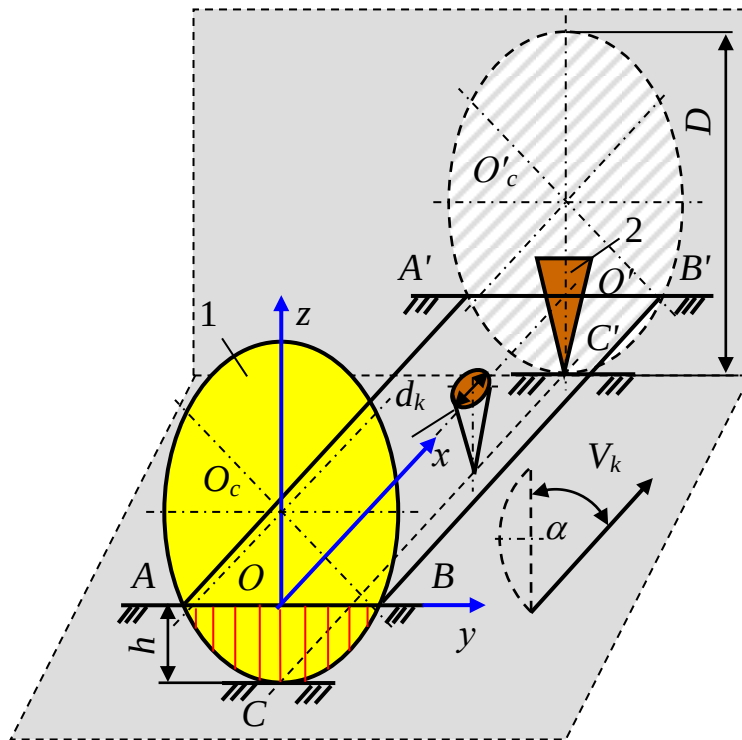


Рис. 3.5. Схема для розрахунку технологічного процесу викопування ВК: 1 – сферичний диск; 2 – коренеплід

У цих межах даного простору канавки знаходиться теоретично можливий викопаний диском ВК, тобто ґрунт, коренеплоди 2 і рослинні домішки, які в сумі складають автентично загально-можливу зміну подачі ВК dQ/dt протягом часу t , яку розраховано теоретично, або адекватну зміну загальної маси ВК dM/dt . Зміна загальної подачі ВК dQ/dt (загальної маси ВК dM/dt) складається із зміни суми подачі ґрунту dQ_p/dt (маси ґрунту dM_p/dt), подачі коренеплодів dQ_k/dt (маси коренеплодів dM_k/dt), подачі рослинних домішок dQ_r/dt (маси рослинних домішок dM_r/dt), тобто справедлива тотожність [234]

$$\begin{aligned} dQ / dt &= dQ_{\rho} / dt + dQ_k / dt + dQ_p / dt = \\ dM / dt &= dM_{\rho} / dt + dM_k / dt + dM_p / dt, \end{aligned} \quad (3.45)$$

де Q , Q_{ρ} , Q_k , Q_p – відповідно, загальна подача вороху, подача ґрунту, коренеплодів і рослинних домішок, які розраховані теоретично кг;

M , M_{ρ} , M_k , M_p – відповідно, загальна маса вороху, ґрунту, коренеплодів і рослинних домішок, які розраховані теоретично, кг.

При формалізації процесу викопування коренеплодів системою АВТОКРО приймаємо такі базові обмеження та припущення:

- на шляху викопування КМ рухається рівномірно, а втрати коренеплодів регламентовані агротехнічними вимогами до КМ [228, 229];
- задана глибина ходу сферичного диска h змінюється у межах, якими можна знехтувати, тобто прийняти обмеження $h = const$;
- розмірно-масові параметри формалізованих просторових форм коренеплодів на 1 погонному метрі кожного рядка мають усереднені розміри, тобто загальна довжина L_k , діаметр головки D_k коренеплодів дорівнюють середнім характеристикам відповідного типу та сорту [24, 36, 44, 50, 79, 80, 88, 157];
- глибина залягання коренеплодів у ґрунті та їх відхилення відносно осі рядка не перевищує глибину ходу викопувального диска та його ширину захвату;
- втрати гички та довжина залишків гички на головках коренеплодів після зрізування її гичкозбиральною машиною не перевищують відповідних показників, які встановлені агротехнічними вимогами до даного процесу [228, 229].

Тотожність (3.45) адекватно описує тільки той випадок, за якого приводний вал 5 (рис. 2.8) АВТОКРО участі в технологічному процесі викопування ВК не приймає, а складові тотожності (3.45) розраховані теоретично.

Але у процесі викопування ВК диском 2 (рис. 2.23), або внаслідок реальної закономірності функціонування технологічного процесу роботи викопувальних робочих органів частина вхідної загальної подачі ВК dQ / dt (загальної маси ВК dM / dt) зменшується у вигляді відсіювання ґрунтових і рослинних домішок, або втрачається у вигляді втрат коренеплодів [1, 232], тобто

$$\begin{aligned} dQ_1 / dt &= (dQ_{\rho} / dt)K_{1\rho} + (dQ_p / dt)K_{1p} + (dQ_k / dt)K_{1k} = \\ dM_1 / dt &= (dM_{\rho} / dt)K_{1\rho} + (dM_p / dt)K_{1p} + (dM_k / dt)K_{1k}, \end{aligned} \quad (3.46)$$

де Q_1 , M_1 – загальна вихідна подача (загальна маса) ВК після його викопування сферичним диском, кг;

$K_{1\rho}$, K_{1p} – часткові коефіцієнти, які враховують ступінь зниження зміни вхідної загальної подачі ґрунтових і рослинних домішок сферичним диском відносно подачі, розрахованої теоретично.

Введемо позначення складових тотожності (3.46), при цьому позначимо $(dM_{\rho} / dt)K_{1\rho} = dM_{1\rho} / dt$ і $(dM_p / dt)K_{1p} = dM_{1p} / dt$ – відповідно, зміна загальної маси ґрунтових і рослинних домішок за проміжок часу t .

У подальшому під час викопування коренеплодів диском 2 (рис. 2.23) та одночасної взаємодії лопатей 4 приводного вала 3 на компоненти домішок ВК відбувається зменшення загальної подачі ВК dQ_1 / dt , (маси dM_1 / dt) за рахунок відокремлення частки загальної подачі ґрунтових $dQ_{1\rho} / dt$ (маси $dM_{1\rho} / dt$) і рослинних dQ_{1p} / dt (маси dM_{1p} / dt) домішок на стадіях його викопування, руху по робочій поверхні диска та транспортуванні ВК на наступні ТТС АКМ за проміжок часу t , тобто

$$\begin{aligned} dQ_2 / dt &= (dQ_{1\rho} / dt)K_{2\rho} + (dQ_{1p} / dt)K_{2p} + (dQ_k / dt)K_{1k} = \\ dM_2 / dt &= (dM_1 / dt)K_{2\rho} + (dM_{1p} / dt)K_{2p} + (dQ_k / dt)K_{1k}, \end{aligned} \quad (3.47)$$

де Q_2 , M_2 – загальна вихідна подача (загальна маса) ВК після його викопування АВТОКРО, кг;

$K_{2\rho}$, K_{2p} – часткові коефіцієнти, які враховують ступінь зниження зміни вхідної загальної подачі ґрунтових і рослинних домішок АВТОКРО відносно базового сферичного диска.

Зменшення загальної кількості домішок, або ефективність роботи АВТОКРО опишемо коефіцієнтом динамічного ефекту роботи K_A АВТОКРО [232, 235] від значення якого у значній мірі залежить ступінь зміни загальної подачі dQ_2 / dt

протягом часу t за рахунок відокремлення складових компонента домішок ВК, тобто ґрунтових $dQ_{1\rho} / dt$ і рослинних dQ_{1p} / dt домішок, а також зміни подачі коренеплодів dQ_k / dt (адекватно їм відповідних $dM_{1\rho} / dt$, dM_{1p} / dt , dM_k / dt), яка відбувається у процесі їх взаємодії з робочими поверхнями лопаті 4 (рис. 2.23) вала 3 АВТОКРО.

Фізична суть коефіцієнта K_A ідентична фізичній суті коефіцієнта K_M , при цьому, з урахуванням (3.46), (3.47) та адекватності зміни подач і відповідних мас складових компонентів ВК протягом часу t , одержано:

$$K_A = \frac{dQ_2}{dQ_1} = \frac{d(M_k K_{1k} + M_{1\rho} K_{2\rho} + M_{1p} K_{2p})}{d(M_k K_{1k} + M_\rho K_{1\rho} + M_p K_{1p})}. \quad (3.48)$$

Для оптимізації ефективності технологічного процесу роботи АВТОКРО та визначення реальної маси ґрунту M_ρ , яка викопується одним сферичним диском, розглянемо складену схему для визначення об'єму канавки, профіль якої на рівні поверхні ґрунту утворений контуром фігури $AOBCC'B'A'A$ (рис. 3.5), при цьому вісь Ox спрямуємо в напрямку поступального переміщення диска 1 зі швидкістю V_k , а осі Oy , Oz – у поперечному та вертикальному напрямках.

Проекція гвинтової лінії, яку описує довільна точка зовнішньої різальної кромки сферичного диска на площину yOz поперечного перерізу канавки $ABCC'B'A'$ є еліпс, тобто канавка $ABCC'B'A'$ довжиною S_k , яка утворена диском 1 (рис. 5.3) за час руху t має у поперечному перерізі форму сегмента еліпса ABC .

Позначимо об'єм ґрунту, який викопується диском за час t через dV_ρ / dt . Аналіз рис. 3.5 показує, що об'єм ґрунту dV_ρ / dt складається із об'єму $dV_{1\rho} / dt$ внутрішнього простору канавки $ABCC'B'A'$ за виключенням із нього загальної суми об'ємів підземних частин i -их коренеплодів $d \sum_{i=1}^n V_{k\rho_i} / dt$, які знаходяться в об'ємі $dV_{1\rho} / dt$ на глибині ходу диска h , при цьому

$$dV_{1\rho} / dt = F_\rho (dS_k / dt) \sin \alpha; \quad (3.49)$$

$$dV_{\rho} / dt = dV_{1\rho} / dt - d \sum_{i=1}^n V_{k\rho_i} / dt = F_{\rho} (dS_k / dt) \sin \alpha - d \sum_{i=1}^n V_{k\rho_i} / dt, \quad (3.50)$$

де $V_{1\rho}$ – об'єм внутрішнього простору канавки $ABCC'B'A'$, м³;

$\sum_{i=1}^n V_{k\rho_i}$ – сума об'єму підземних частин i -их коренеплодів, які викопуються, м³;

F_{ρ} – площа поперечного перерізу ABC ріжучої окрайки диска, м²;

S_k – довжина канавки $ABCC'B'A'$, або шлях, який проходить диск за час t м;

α – кут установки сферичного диска відносно осі рядка коренеплодів, град.

Тоді згідно з (3.49), (3.50) маємо

$$\begin{aligned} \frac{dM_{\rho}}{dt} &= \rho_{zp} \frac{dV_{\rho}}{dt} = \rho_{zp} \frac{d \left(V_{1\rho} - \sum_{i=1}^n V_{k\rho_i} \right)}{dt} = \\ &= \rho_{zp} \left[F_{\rho} \frac{dS_k}{dt} \sin \alpha - (n_1 V_{k\rho_1} + n_2 V_{k\rho_2} + \dots + n_n V_{k\rho_n}) \right] =, \quad (3.51) \\ &= \rho_{zp} \left[F_{\rho} \frac{dS_k}{dt} \sin \alpha - p (j_1 V_{k\rho_1} + j_2 V_{k\rho_2} + \dots + j_n V_{k\rho_n}) \right] = \\ &= \rho_{zp} \left[F_{\rho} \sin \alpha - (j_1 V_{k\rho_1} + j_2 V_{k\rho_2} + \dots + j_n V_{k\rho_n}) \right] \frac{dS_k}{dt} \end{aligned}$$

або

$$\frac{dM_{1\rho}}{dt} = \rho_{zp} K_{1\rho} \left[F_{\rho} \sin \alpha - (j_1 V_{k\rho_1} + j_2 V_{k\rho_2} + \dots + j_n V_{k\rho_n}) \right] \frac{dS_k}{dt}, \quad (3.52)$$

де ρ_{zp} – питома (об'ємна) маса ґрунту, кг/м³;

$V_{k\rho_1}, V_{k\rho_2}, \dots, V_{k\rho_n}$ – об'єм підземної частини одного i -го коренеплоду на глибині ходу диска h , м³;

$n_1, n_2, \dots, n_n$ – загальна кількість i -их коренеплодів які залягають у ґрунті та викопуються диском за час t на глибині його ходу h , шт;

p – кількість погонних метрів, які проходить диск за час t , п.м, при цьому приймаємо, що $p \cong S_k \cong V_k$;

$j_1, j_2, \dots, j_n$ – кількість i -их коренеплодів на 1 погонному метрі рядка, шт.

Для визначення площі F_ρ поперечного перерізу ABC ріжучої крайки диска розглянемо складену схему, яку наведено на рис. 3.6, при цьому сферичний диск 2 утворено січенням сфери 1 площиною, яка паралельна осі $O_z z$.

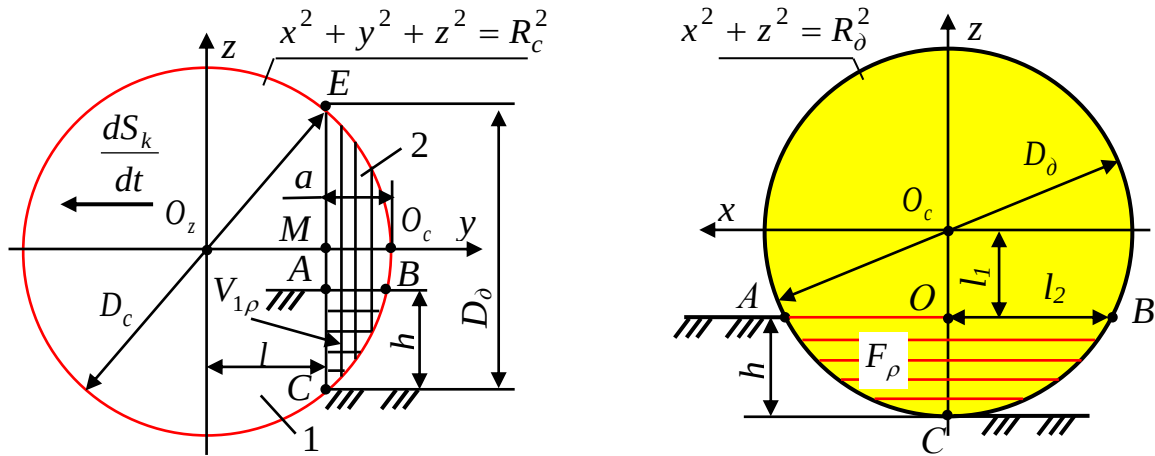


Рис. 3.6. Схема для розрахунку F_ρ :

1 – сфера; 2 – сферичний диск

Для визначення площі F_ρ поперечного перерізу ABC ріжучої крайки диска позначимо величини, які наведено на рис. 3.6: D_c – діаметр сфери 1, (м); D_δ – діаметр сферичного диска 2, (м), який являє собою кульовий сегмент EO_cCME сфери 1; h – глибина ходу сферичного диска, (м).

Тоді $l = \sqrt{R_c^2 - R_\delta^2}$, $l_1 = z = -(R_\delta - h)$, $l_2 = \sqrt{R_\delta^2 - (R_\delta - h)^2}$, при цьому згідно з [201] маємо

$$F_\rho = \int_a^b f(z) dz = \int_{-R_\delta}^{-(R_\delta - a)} (\sqrt{R_c^2 - z^2} - \sqrt{R_c^2 - R_\delta^2}) dz, \quad (3.53)$$

де R_c – радіус сфери, м;

R_δ – радіус сферичного диска, м;

h – глибина ходу диска, м.

Згідно з [201] рішення інтегрального виразу $\int \sqrt{b^2 - z^2} dz$ дорівнює:

$$\int \sqrt{b^2 - z^2} dz = \frac{1}{2} b^2 \arcsin \frac{z}{b} + \frac{1}{2} z \sqrt{b^2 - z^2} + c, \text{ тоді}$$

$$\begin{aligned}
F_\rho = \int_{R_\delta - a}^{R_\delta} (\sqrt{R_c^2 - z^2} - \sqrt{R_c^2 - R_\delta^2}) dz = (0,5R_c^2 \arcsin \frac{z}{R_c} + 0,5z\sqrt{R_c^2 - z^2} - \\
- z\sqrt{R_c^2 - R_\delta^2}) \Big|_{R_\delta - a}^{R_\delta} = 0,5R_c^2 \left(\arcsin \frac{R_\delta}{R_c} - \arcsin \frac{R_\delta - a}{R_c} \right) + \\
+ 0,5 \left(R_\delta \sqrt{R_c^2 - R_\delta^2} - (R_\delta - h) \sqrt{R_c^2 - (R_\delta - h)^2} \right) - h \sqrt{R_c^2 - R_\delta^2}.
\end{aligned} \quad (3.54)$$

З врахуванням того, що $R_\delta^2 = a(2R_c - a)$ [201], де a – глибина сферичного диска (м) та (3.52) і після відповідних спрощень отримаємо

$$\frac{dM_{1\rho}}{dt} = \frac{0,125\rho_{ep}K_{\rho 1} \sin \alpha}{a} \left[\frac{(0,25D_\delta^2 + a^2)^2}{2a} \left(\arcsin \frac{D_\delta a}{0,25D_\delta^2 + a^2} - \arcsin \frac{a(D_\delta - 2h)}{0,25D_\delta^2 + a^2} \right) + \right. \\
\left. + (D_\delta - 0,5h) \times \right. \\
\left. \times \left(0,25D_\delta^2 - a^2 - 0,5\sqrt{(0,25D_\delta^2 - a^2)^2 + 4a^2h(D_\delta - h)} \right) - \right. \\
\left. - 8a(j_1V_{k\rho_1} + j_2V_{k\rho_2} + \dots + j_nV_{k\rho_n}) / \sin \alpha \right], \quad (3.55)$$

або після відповідної заміни

$$\frac{dM_{1\rho}}{dt} = \frac{dM_\rho}{dt} K_{1\rho} = \frac{0,5\rho_{ep}K_{1\rho}}{a} \left[F_\rho \sin \alpha - 8a(j_1V_{k\rho_1} + j_2V_{k\rho_2} + \dots + j_nV_{k\rho_n}) \right] \frac{dS_k}{dt}, \quad (3.56)$$

де

$$\begin{aligned}
F_\rho = \frac{(0,25D_\delta^2 + a^2)^2}{2a} \left(\arcsin \frac{D_\delta h}{0,25D_\delta^2 + a^2} - \arcsin \frac{a(D_\delta - 2h)}{0,25D_\delta^2 + a^2} \right) + \\
+ (D_\delta - 0,5h) \times \left(0,25D_\delta^2 - a^2 - 0,5\sqrt{(0,25D_\delta^2 - a^2)^2 + 4a^2h(D_\delta - h)} \right)
\end{aligned} \quad (3.57)$$

Тоді зміна подачі маси ґрунтових домішок, які подаються АВТОКРО на наступні ТТС АКМ протягом часу t згідно з (3.47) визначається

$$\frac{dM_{2\rho}}{dt} = \frac{dM_{1\rho}}{dt} K_{2\rho} = \frac{0,5\rho_{ep}K_{1\rho}K_{2\rho}}{a} \left[F_\rho \sin \alpha - 8a(j_1V_{k\rho_1} + j_2V_{k\rho_2} + \dots + j_nV_{k\rho_n}) \right] \frac{dS_k}{dt}. \quad (3.58)$$

Зміна подачі маси коренеплодів M_k , які викопуються АВТОКРО за певний

проміжок часу t дорівнює різниці сум мас i -их коренеплодів, які залягають у ґрунті до викопування та мас i -их коренеплодів, які залишаються невикопаними, тобто втрачаються під час викопування АВТОКРО, при цьому вважаємо, що втрати частин коренеплодів під час взаємодії лопатей приводного вала (очищення залишків гички) відсутні

$$\begin{aligned} \frac{dM_k}{dt} &= \sum_{i=1}^n M_{k_i} - \sum_{i=1}^n M_{k\delta_i} = (n_1 M_{1_k} + n_2 M_{2_k} + \dots + n_n M_{n_k}) - \\ &- (n_{1\delta} M_{1_k} + n_{2\delta} M_{2_k} + \dots + n_{n\delta} M_{n_k}) = \\ &= \rho_k [(n_1 V_{k1} + n_2 V_{k2} + \dots + n_n V_{kn}) - (n_{1\delta} V_{k1} + n_{2\delta} V_{k2} + \dots + n_{n\delta} V_{kn})] = \\ &= \rho_k [(j_1 V_{k1} + j_2 V_{k2} + \dots + j_n V_{kn}) - (j_{1\delta} V_{k1} + j_{2\delta} V_{k2} + \dots + j_{n\delta} V_{kn})] \frac{dS_k}{dt} \end{aligned} \quad (3.59)$$

де $\sum_{i=1}^n M_{k_i}$, $\sum_{i=1}^n M_{k\delta_i}$ – відповідно суми мас коренеплодів, які залягають у ґрунті

до викопування та які залишаються невикопаними, кг;

$M_{1_k}, M_{2_k}, \dots, M_{n_k}$ – маса одного i -го коренеплоду, кг;

$n_{1\delta}, n_{2\delta}, \dots, n_{n\delta}$ – загальна кількість i -их коренеплодів, які не викопуються

АВТОКРО за певний проміжок часу t , шт.;

$j_{1\delta}, j_{2\delta}, \dots, j_{n\delta}$ – кількість i -их коренеплодів, які не викопуються на 1

погонному метрі рядка за певний проміжок часу t , шт.;

ρ_k – питома маса коренеплоду, кг/м³;

$V_{k1}, V_{k2}, \dots, V_{kn}$ – об'єм одного i -го коренеплоду, м³.

Із іншого боку, сума мас i -их коренеплодів $\sum_{i=1}^n M_{k\delta_i}$, які залишаються

невикопаними за рахунок відхилення робочого органу від осрової лінії рядка внаслідок непрямої руху КМ під час процесу викопування коренеплодів, згідно агротехнічних вимог до процесу збирання вважаються втратами [228, 229]. Втрати коренеплодів, що характерні процесу роботи АВТОКРО врахуємо за рахунок введення поправочного коефіцієнта втрат K_{1k} , який характеризує ступінь зменшення зміни подачі M_k за певний проміжок часу t .

Тоді аналогічно (3.58) та з врахуванням (3.47) маємо

$$\frac{dM_k}{dt} = K_{1k} \sum_{i=1}^n \frac{dM_{ki}}{dt} = 2\rho_k K_{1k} (j_1 V_{k1} + j_2 V_{k2} + \dots + j_n V_{kn}) \frac{dS_k}{dt}; \quad (3.66)$$

Зміна загальної подачі маса рослинних домішок dM_p / dt , які викопуються сферичним диском за проміжок часу t у загальному випадку складається з зміни маси залишків гички $dM_{3,2} / dt$ на головках коренеплодів, які залишилися після проходу гичкозбиральної машини, зміни маси гички dM_z / dt , яка була втрачена у процесі її зрізування робочими органами гичкозбиральної машини та зміни маси бур'янів dM_δ / dt (кг), які знаходяться у межах канавки $ABCC'B'A'$ (рис. 3.5), утвореної поступальним рухом сферичного диска, тобто [236]

$$dM_p / dt = dM_{3,2} / dt + dM_z / dt + dM_\delta / dt, \quad (3.67)$$

де $M_{3,2}$, M_z , M_δ – відповідно, маса залишків гички на головках коренеплодів, маса втраченої гички та маса бур'янів, які подаються диском, кг.

Маса залишків гички $M_{3,2}$ і маса втраченої гички M_z залежать від урожайності і сорту коренеплодів та якості роботи гичкозбиральної машини. Згідно з вихідними вимогами, довжина залишків гички на головках коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М не повинна бути більшою за встановлене значення $h_{i_{3,2}}$ (см), або загальна питома маса залишків гички на головках коренеплодів, які знаходяться на площі 1 м^2 , не повинна перевищувати значення μ_i (%) від урожайності гички. Питома маса втраченої гички на площі 1 м^2 не повинна перевищувати η_i (%) від урожайності гички. Згідно з вихідними вимогами до технологічного процесу роботи гичкозбиральних машин на даному етапі, питома маса бур'янів не повинна перевищувати λ_i (кг/м²) [1, 209, 228, 229].

Для подальших розрахунків приймаємо максимальні значення вказаних величин. Тоді відповідні зміни подачі маси залишків гички $dM_{3,2} / dt$, втраченої гички dM_z / dt і маси бур'янів dM_δ / dt , які розраховані теоретично та подаються диском за проміжок часу t , визначаються

$$\left. \begin{aligned} dM_{i_{3.2}} / dt &= \mu_i U_z (dS_n / dt); \\ dM_{i_z} / dt &= \eta_i U_z (dS_n / dt); \\ dM_{i_6} / dt &= \lambda_i (dS_n / dt) \end{aligned} \right\}, \quad (3.68)$$

де U_z – урожайність гички коренеплодів, кг/м²;

S_n – площа фігури $ABB'A'$ на рівні поверхні ґрунту, яку утворює сферичний диск, м².

Але, під час викопування та транспортування ВК АВТОКРО на наступні ТТС АКМ за певний проміжок часу t , частина вільних рослинних домішок (залишків гички, яка втрачена під час збирання її основного масиву, бур'яни), які знаходяться на площі S_n просіюється, або втрачається. Крім того, за рахунок дії лопатей 4 (рис. 2.23) вала 3 АВТОКРО відбувається видалення залишків гички з головок коренеплодів і, загалом, інтенсифікується процес просіювання домішок.

Для розрахунку реальної зміни подачі маси рослинних домішок dM_{1p} / dt , яка викопується сферичним диском і зміни подачі маси рослинних домішок dM_{2p} / dt , яка безпосередньо надходить на наступні очисні ТТС АКМ необхідно врахувати поправочні коефіцієнти K_{1p} , K_{2p} , які характеризують ступінь зменшення, відповідно, dM_{1p} / dt відносно dM_p / dt та dM_{1p} / dt відносно dM_{2p} / dt за певний проміжок часу t , тобто

$$dM_{1p} / dt = (dM_p / dt) K_{1p}; \quad dM_{2p} / dt = (dM_{1p} / dt) K_{p2}. \quad (3.69)$$

Згідно з (3.67-3.69) отримаємо залежність для визначення зміни подачі загальної маси рослинних домішок dM_p / dt , яка викопується сферичним диском за певний проміжок часу t та розрахована теоретично

$$\frac{dM_p}{dt} = 4 \sin \alpha \sqrt{h(D_\delta - h)} [U_z (\mu_i + \eta_i) + \lambda_i] \frac{dS_k}{dt}, \quad (3.70)$$

або

$$\frac{dM_{1p}}{dt} = 4 K_{1p} \sin \alpha \sqrt{h(D_\delta - h)} [U_z (\mu_i + \eta_i) + \lambda_i] \frac{dS_k}{dt}. \quad (3.71)$$

Тоді зміна подачі маси рослинних домішок, які подаються АВТОКРО на наступні ТТС АКМ протягом часу t згідно з (3.47) визначається

$$\frac{dM_{2p}}{dt} = \frac{dM_{1p}}{dt} K_{1p} = 4K_{1p}K_{2p} \sin \alpha \sqrt{h(D_\delta - h)} [U_\varepsilon(\mu_i + \eta_i) + \lambda_i] \frac{dS_k}{dt}. \quad (3.71)$$

Таким чином, підставивши (3.51), (3.52), (3.59), (3.70) і (3.71) у (3.48), одержано математичну модель ефективності технологічного процесу викопування ВК залежно від параметрів АВТОКРО, умов роботи та розмірних характеристик коренеплодів і яка характеризується коефіцієнтом динамічного ефекту роботи K_A :

$$K_A = \frac{dS_k}{dt} \left\{ \begin{aligned} & \frac{\rho_{zp} K_{1p} K_{2p}}{2h} [F_\rho \sin \alpha - 8a(j_1 V_{k\rho_1} + j_2 V_{k\rho_2} + \dots + j_n V_{k\rho_n})] + \\ & + 2\rho_k K_{1k} (j_1 V_{k1} + j_2 V_{k2} + \dots + j_n V_{kn}) + 4\Phi K_{1p} K_{2p} \sin \alpha [U_\varepsilon(\mu_i + \eta_i) + \lambda_i] / \\ & / \frac{\rho_{zp} K_{1p}}{2h} [F_\rho \sin \alpha - 8a(j_1 V_{k\rho_1} + j_2 V_{k\rho_2} + \dots + j_n V_{k\rho_n})] + \\ & + 2\rho_k K_{1k} (j_1 V_{k1} + j_2 V_{k2} + \dots + j_n V_{kn}) + 4\Phi K_{1p} \sin \alpha [U_\varepsilon(\mu_i + \eta_i) + \lambda_i] \end{aligned} \right\}, \quad (3.72)$$

де $\Phi = \sqrt{hD_\delta - h^2}$.

Значення коефіцієнтів K_{1p} , K_{2p} , K_{1k} , K_{1p} , K_{2p} будуть визначені за результатами обробки експериментальних даних, отриманих під час проведення лабораторно-польових досліджень викопування ВК АВТОКРО.

На основі проведеного аналізу можна констатувати, що зміна загальної подачі ВК dQ_T / dt сферичним диском з N_k рядків згідно з (3.45), (3.51), (3.59), (3.70) описується загальною математичною моделлю, яка характеризує взаємозв'язок зміни надходження викопаного ВК залежно від параметрів АВТОКРО, агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи АКМ, тобто [234, 236]

$$\frac{dQ_T}{dt} = \frac{dS_k}{dt} N_k \sin \alpha \left\{ \frac{\rho_{zp}}{4a} \left(F_\rho - \frac{8a}{\sin \alpha} \sum_{i=1}^n j_i V_{k\rho_i} \right) + \frac{\rho_k}{\sin \alpha} \sum_{i=1}^n j_i V_{ki} + 2\Phi [U_\varepsilon(\mu_i + \eta_i) + \lambda_i] \right\}, \quad (3.73)$$

де N_k – кількість рядків, які викопуються АВТОКРО АКМ, шт.

При цьому теоретично-розрахункові зміна подачі кожного із складових компонентів ВК за певний проміжок часу t та розрахована теоретично становить:

- зміна загальної подачі домішок $dQ_{T\partial} / dt$

$$\frac{dQ_{T\partial}}{dt} = \frac{dS_k}{dt} N_k \sin \alpha \left\{ \frac{0,125 \rho_{zp}}{a} \left(F_\rho - \frac{8a}{\sin \alpha} \sum_{i=1}^n j_i V_{k\rho_i} \right) + 2\Phi [U_z(\mu_i + \eta_i) + \lambda_i] \right\}; \quad (3.74)$$

- зміна загальної подачі домішок ґрунту $dQ_{T\rho\partial} / dt$

$$\frac{dQ_{T\rho\partial}}{dt} = \frac{dS_k}{dt} \frac{0,125 \rho_{zp} N_k}{a} \left(F_\rho \sin \alpha - 8a \sum_{i=1}^n j_i V_{k\rho_i} \right); \quad (3.75)$$

- зміни подачі домішок вільного ґрунту dQ_{Tp} / dt із врахуванням (3.75)

$$\frac{dQ_{Tp}}{dt} = \frac{dS_k}{dt} N_k \left[\frac{0,125 \rho_{zp}}{a} \left(F_\rho \sin \alpha - 8a \sum_{i=1}^n j_i V_{k\rho_i} \right) - \sum_{i=1}^n j_i m_{zp_i} \right], \quad (3.76)$$

де $\sum_{i=1}^n j_i m_{zp_i}$ – маса налиплого ґрунту на підземній частині поверхні тіла i -их

коренеплодів, які викопуються диском, кг;

- зміна подачі домішок налиплого ґрунту на підземній частині поверхні тіла i -их коренеплодів, які викопуються диском dQ_{Tzp} / dt

$$\frac{dQ_{Tzp}}{dt} = \frac{dS_k}{dt} N_k \sum_{i=1}^n j_i m_{zp_i}; \quad (3.77)$$

- зміна подачі коренеплодів dQ_{Tk} / dt

$$\frac{dQ_{Tk}}{dt} = \frac{dS_k}{dt} \rho_k N_k \sum_{i=1}^n j_i V_{k_i}; \quad (3.78)$$

- зміна загальної подачі рослинних домішок dQ_{Tp} / dt

$$\frac{dQ_{Tp}}{dt} = 2 \frac{dS_k}{dt} N_k \sin \alpha \sqrt{hD_\partial - h^2} [U_z(\mu_i + \eta_i) + \lambda_i]; \quad (3.79)$$

- зміна подачі домішок залишків гички на головках $dQ_{T3,\varepsilon} / dt$

$$\frac{dQ_{T3,\varepsilon}}{dt} = 2 \frac{dS_k}{dt} N_k U_z \mu_i \sin \alpha \sqrt{hD_\partial - h^2}; \quad (3.80)$$

- зміна подачі вільних рослинних домішок (бур'янів) $dQ_{T\bar{o}} / dt$

$$\frac{dQ_{T\bar{o}}}{dt} = 2 \frac{dS_k}{dt} N_k \sin \alpha \sqrt{hD_o - h^2} (U_z \eta_i + \lambda_i); \quad (3.81)$$

При початкових умовах $D_o = 0,45$ м, $h = 0,09$ м; $\alpha = 30^0$, $\rho_{zp} = 1500$ кг/м³, $U_z = 0,6$ кг/м² та максимально-допустимих значень, згідно агротехнічних вимог показників $\mu = 10$ %, $\eta = 8$ %, $\lambda = 0,1$ кг/м² [228, 229] побудовано залежності зміни секундної подачі загального ВК $Q_T = f_T(V_k, N_k)$ (рис.3.7а) і загальних домішок ВК $Q_{T\bar{o}} = f_{T\bar{o}}(V_k, N_k)$ (рис. 3.7б) згідно з (3.73) і (3.74)

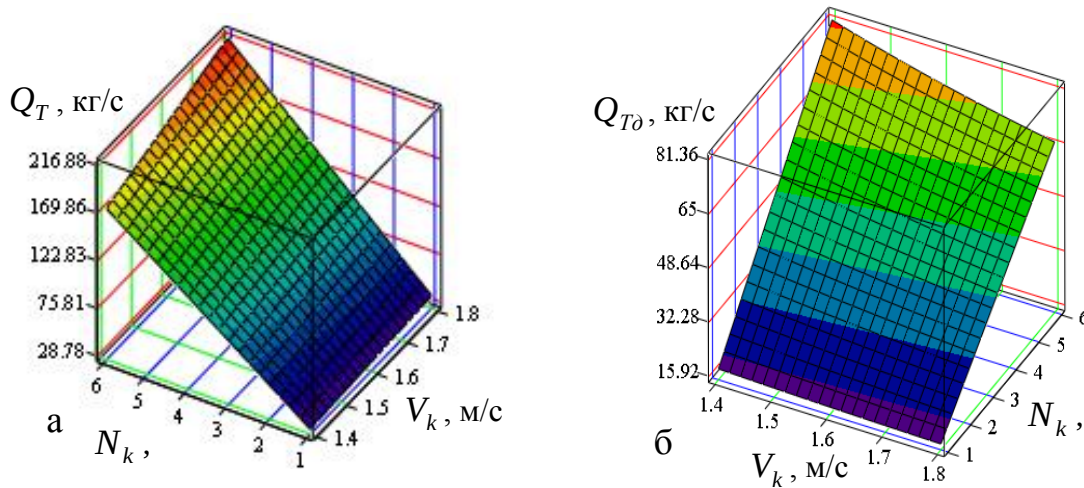


Рис. 3.7. Залежності зміни секундної подачі Q_T (а) і $Q_{T\bar{o}}$ (б) від швидкості руху V_k АВТОКРО та кількості рядків N_k

Аналіз наведених залежностей (рис. 3.7) показує, що зміна $Q_T = f_T(V_k, N_k)$ і $Q_{T\bar{o}} = f_{T\bar{o}}(V_k, N_k)$ залежно від швидкості руху V_k та кількості рядків N_k , які викопуються АВТОКРО має прямо пропорційний характер – зі збільшенням V_k і N_k загальна секундна подача ВК Q_T і загальна секундна подача домішок $Q_{T\bar{o}}$ ВК монотонно зростають, при цьому зміна ВК Q_T , яка розрахована теоретично, знаходиться в межах 29...216 (кг/с), а зміна $Q_{T\bar{o}}$ – у межах 16...81 (кг/с).

На рис. 3.8 наведено залежності зміни секундної подачі: загальних рослинних домішок $Q_{Tp} = f_{Tp}(V_k, N_k)$; залишків гички на головках коренеплодів $Q_{T_{3,2}} = f_{T_{3,2}}(V_k, N_k)$; вільних рослинних домішок $Q_{T\bar{o}} = f_{T\bar{o}}(V_k, N_k)$.

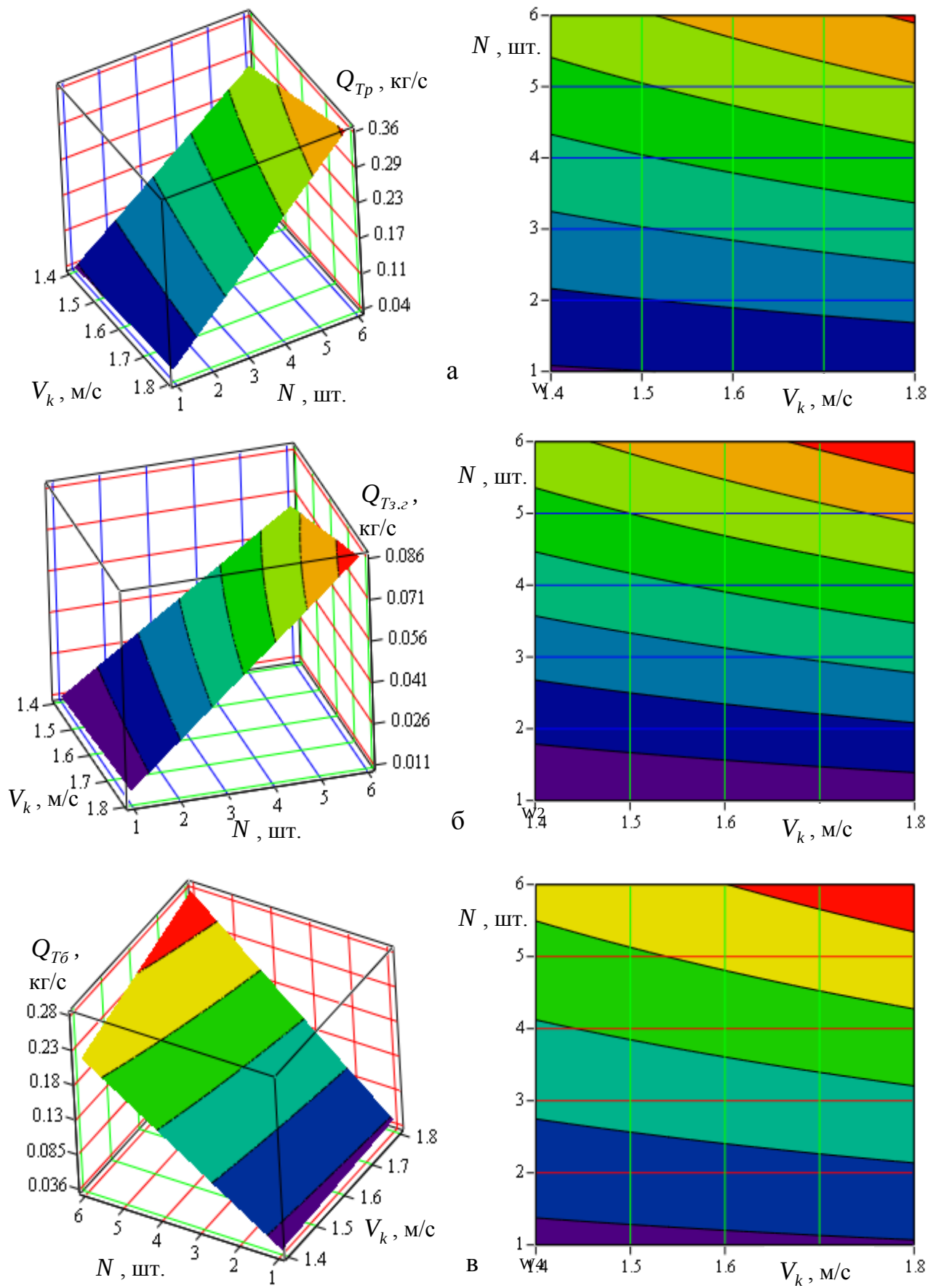


Рис. 3.8. Залежності зміни секундної подачі Q_{Tp} (а), $Q_{T3.2}$ (б) і Q_{T6} (в) від швидкості руху V_k та кількості рядків N_k

Характер зміни секундних подач рослинних домішок Q_{Tp} , $Q_{T3.2}$, $Q_{T\bar{o}}$ (рис. 3.8) залежно від швидкості руху V_k АВТОКРО та кількості рядків N_k аналогічний характеру зміни загальної секундної подачі Q_T ВК та загальної секундної подачі домішок $Q_{T\bar{o}}$ ВК, при цьому, залежно від збільшення V_k , приріст секундних подач загальних рослинних домішок і їх складових компонентів – залишків гички на головках коренеплодів і наявних бур'янів незначний та становить у середньому 0,01 кг/с на відміну від приросту Q_T , значення якого знаходяться в межах 10...15 кг/с.

Для практичного використання наведених залежностей (2.36-2.44) і для розрахунку секундних подач складових компонентів вороху з врахуванням реальної врожайності коренеплодів U_k , виконаємо перетворення складових.

Позначимо [233]

$$\frac{dS_k}{dt} \sum_{i=1}^n j_i V_{k\rho_i} = \frac{dV_{k\rho}}{dt} = \frac{dM_{k\rho}}{dt} \frac{1}{\rho_k}; \quad \frac{dS_k}{dt} \sum_{i=1}^n j_i V_k = \frac{dV_k}{dt} = \frac{dM_k}{dt} \frac{1}{\rho_k}, \quad (3.82)$$

$$\frac{dM_{k\rho}}{dt} = U_{k\rho} / \frac{dS_n}{dt} \rho_k; \quad \frac{dM_k}{dt} = U_k / \frac{dS_n}{dt}, \quad (3.83)$$

де $M_{k\rho}$ – маса підземних частин коренеплодів, кг;

U_k – урожайність коренеплодів, кг/м²;

З врахуванням (3.82) і (3.83) запишемо тотожності

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_k}{dt} \sum_{i=1}^n j_i V_{k\rho_i} &= \frac{U_{k\rho}}{(dS_n / dt) \rho_k} = \frac{U_{k\rho}}{2(dS_k / dt) \rho_k \sin \alpha \sqrt{hD_\partial - h^2}} = \\ &= \frac{U_k C_V}{2(dS_k / dt) \rho_k \sin \alpha \sqrt{hD_\partial - h^2}}; \\ C_V &= \frac{U_{k\rho}}{U_k}; \quad U_{k\rho} = U_k C_V; \\ \frac{dS_k}{dt} \rho_k \sum_{i=1}^n j_i V_{k_i} &= \frac{U_k}{(dS_n / dt)} = \frac{U_k}{2(dS_k / dt) \sin \alpha \sqrt{hD_\partial - h^2}} \end{aligned} \right\}, \quad (3.84)$$

де $U_{k\rho}$ – приведена урожайність підземних частин коренеплодів, кг/м²;

C_V – коефіцієнт пропорційності відношення урожайності підземної частини коренеплодів U_{kp} до урожайності U_k .

Тоді з врахуванням рівнянь (3.84), залежності (3.73)-(3.76), (3.78), тобто залежності зміни загальної подачі ВК dQ_T/dt , загальної подачі домішок $dQ_{T\partial}/dt$, загальної подачі домішок ґрунту $dQ_{T\rho\partial}/dt$, подачі домішок вільного ґрунту $dQ_{T\rho}/dt$, подачі коренеплодів dQ_{Tk}/dt протягом часу t мають вигляд:

$$\frac{dQ_T}{dt} = \frac{dS_k}{dt} N_k \sin \alpha \left\{ \frac{F_\rho \rho_{zp}}{4a} - \frac{U_k}{2(dS_k/dt)^2 \sin^2 \alpha \sqrt{hD_\partial - h^2}} \left(\frac{\rho_{zp} C_V}{\rho_k} - 1 \right) + \right. \\ \left. + 2\Phi[U_\varepsilon(\mu_i + \eta_i) + \lambda_i] \right\}; \quad (3.85)$$

$$\frac{dQ_{T\partial}}{dt} = \frac{dS_k}{dt} N_k \sin \alpha \left\{ \frac{\rho_{zp}}{4a} \left(F_\rho - 4a \frac{U_k C_V}{\rho_k \Phi \sin^2 \alpha (dS_k/dt)^2} \right) + \right. \\ \left. + 2\Phi[U_\varepsilon(\mu_i + \eta_i) + \lambda_i] \right\}; \quad (3.86)$$

$$\frac{dQ_{T\rho\partial}}{dt} = \frac{\rho_{zp} N_k \sin \alpha (dS_k/dt)}{4a} \left(F_\rho - 4a \frac{U_k C_V}{\rho_k \Phi \sin^2 \alpha (dS_k/dt)^2} \right); \quad (3.87)$$

$$\frac{dQ_{T\rho}}{dt} = \frac{dS_k}{dt} N_k \left[\frac{\rho_{zp} \sin \alpha}{4a} \left(F_\rho - 4a \frac{U_k C_V}{\rho_k \Phi \sin^2 \alpha (dS_k/dt)^2} \right) - \sum_{i=1}^n j_i m_{zp_i} \right]; \quad (3.88)$$

$$\frac{dQ_{Tk}}{dt} = \frac{N_k U_k}{2\Phi \sin \alpha (dS_k/dt)}; \quad (3.89)$$

За початкових умов $\alpha = 30^\circ$, $a = 0,09$ м, $U_\varepsilon = 0,6$ кг/м², $D_\partial = 0,45$ м, $\mu = 10\%$, $\eta = 8\%$, $\lambda = 0,1$ кг/м² побудовано залежності зміни протягом часу $t = 1$ с: загальної подачі ВК $dQ_T/dt = f_T(V_k, U_k)$, $dQ_T/dt = f_T(V_k, N_k)$; загальної подачі домішок ВК $dQ_{T\partial}/dt = f_{T\partial}(V_k, U_k)$, рис. 11.

Встановлено, що числові значення зміни загальної подачі ВК і загальної подачі домішок ВК, відповідно, $dQ_T/dt = f_T(V_k, U_k)$ і $dQ_{T\partial}/dt = f_{T\partial}(V_k, U_k)$ протягом часу $t = 1$ с перебувають у межах 63...105 та 9...54 (кг/с) під час викопування ВК із трьох рядків (рис. 3.9а, б), а значення $dQ_T/dt = f_T(V_k, N_k)$ – у

межах 45...206 (кг/с) для $V_k = 1,6$ м/с. Аналіз графічних залежностей показує, що в разі збільшення урожайності коренеплодів U_k із 100 до 700 ц/га, загальна секундна подача домішок зменшується в незначних межах – у середньому на 10 кг/с, при цьому існує тісний прямо пропорційний зв'язок зміни секундних подач складових компонентів ВК залежно від зміни швидкості руху АВТОКРО, кількості рядків, урожайності коренеплодів і гички, а $dQ_T / dt = f_T(V_k, U_k, N_k) \Rightarrow \max$ досягається, коли $V_k, U_k, N_k = \max$ або прямує до нього.

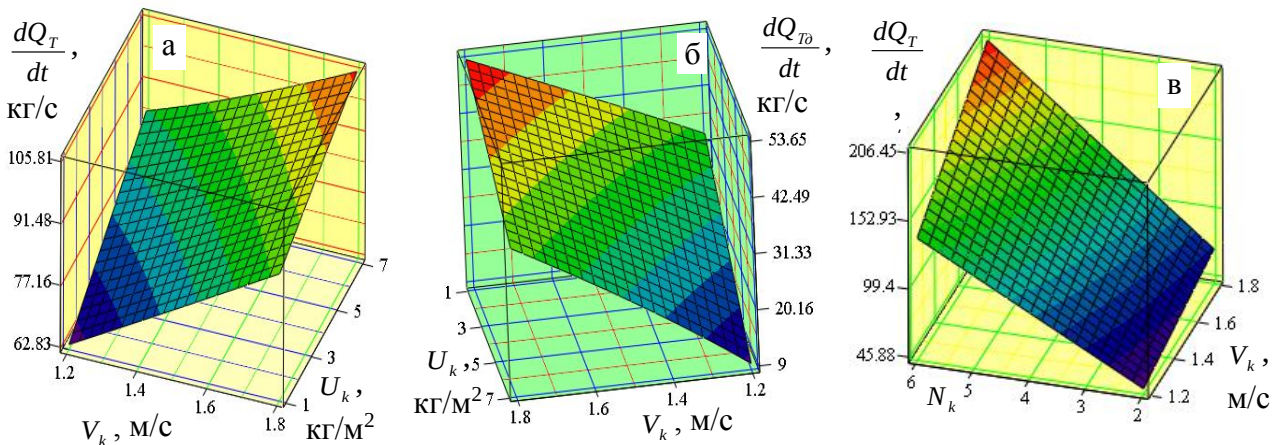


Рис. 3.9. Залежність зміни: а, в $-dQ_T/dt$ від V_k, U_k, N_k ; б – dQ_{T0}/dt від V_k ,

Отримані функціональні залежності (3.85)-(3.89) є початковими вихідними положеннями для подальшої оптимізації параметрів роботи робочих органів ТТС та АКМ загалом.

На рис. 3.10 наведено залежності зміни загальних рослинних домішок $Q_{Tp} = f_T(V_k, U_k)$; залишків гички на головках коренеплодів $Q_{T3.2} = f_{T3.2}(V_k, U_k)$; вільних рослинних домішок $Q_{T\bar{6}} = f_{T\bar{6}}(V_k, U_k)$ від швидкості руху V_k АВТОКРО та врожайності коренеплодів U_k .

У додатку В 3.2 наведено залежність зміни секундної подачі складових компонентів домішок вороху $Q_{Ti} = f_{Ti}(V_k)$ від швидкості руху АВТОКРО при урожайності коренеплодів $U_k = 1...5$ кг/м² (інтервал варіювання 2 кг/м²), урожайності гички коренеплодів $U_g = 0,4...2,4$ кг/м² (інтервал варіювання 1,0 кг/м²) і кількості рядків $N = 3$ шт., які викопуються одночасно сферичним диском.

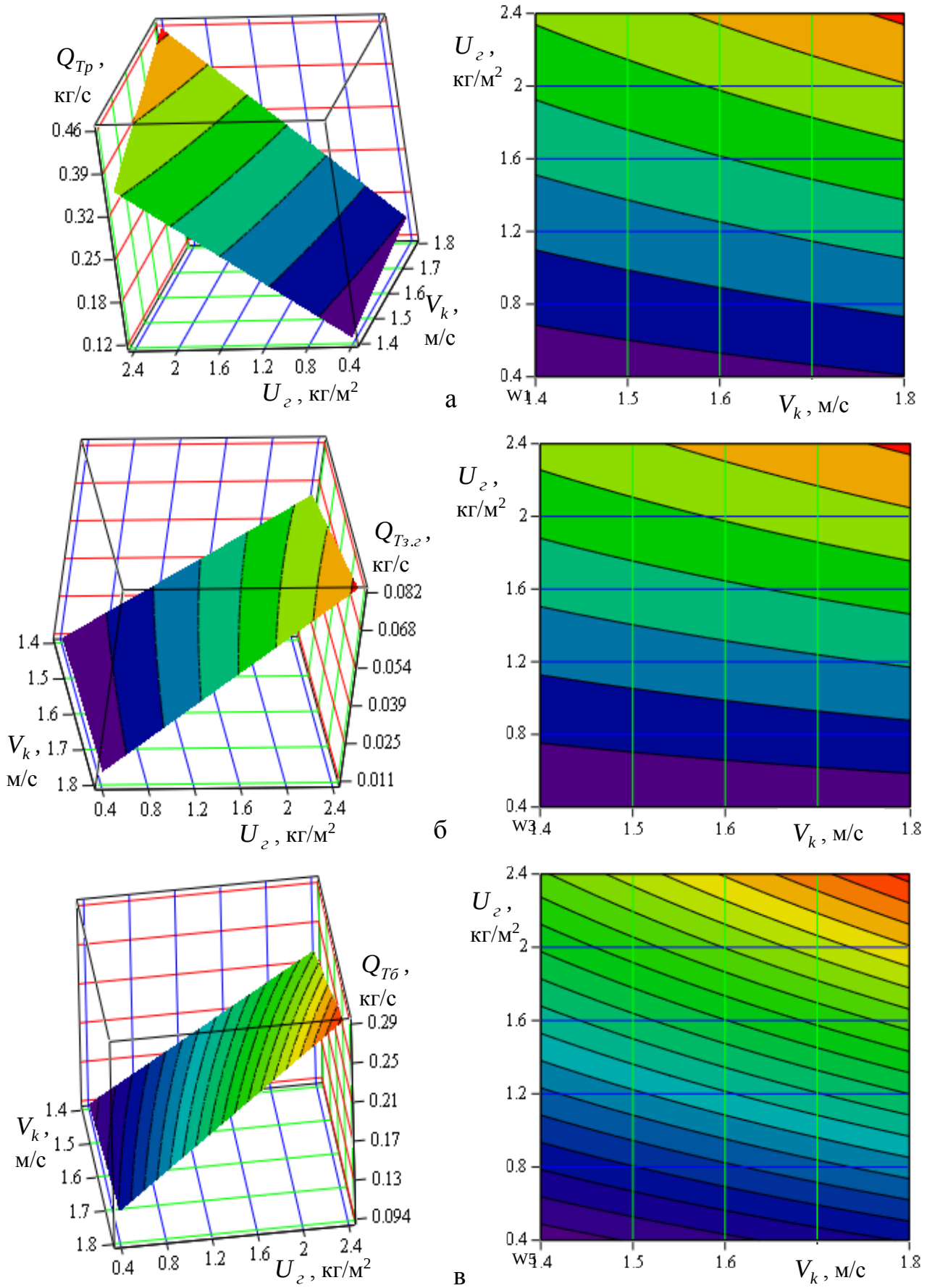


Рис. 3.10. Залежності зміни секундної подачі Q_{Tp} (а), $Q_{T3.2}$ (б) і Q_{T6} (в) від швидкості руху V_k і врожайності гички U_2

Аналіз наведених графічних залежностей (додаток В.3.2) показує, що існує тісний прямо пропорційний зв'язок зміни секундних подач складових компонентів домішок ВК залежно від зміни робочої швидкості руху КМ V_k , кількості рядків N_k , які викопуються одночасно сферичним диском, урожайності коренеплодів U_k або розмірно-масових характеристик коренеплодів і урожайності гички U_g , при цьому максимум функції досягається при максимальних значеннях вказаних аргументів.

Результати теоретично-розрахункового аналізу наведених емпіричних і графічних залежностей будуть використані у подальшому для оптимізації параметрів і режимів роботи АВТОКРО та АКМ загалом.

3.3. Оптимізація параметрів і режимів процесу переміщення вороху коренеплодів адаптованим транспортно-очисним комбінованим робочим органом

Для оптимізації параметрів процесу функціонування АТОКРО залежно від параметрів і режимів роботи спочатку доцільно побудувати математичну модель технологічного процесу взаємозалежного переміщення компонентів ВК по робочих поверхнях АТОКРО, що дасть змогу визначити його динамічні та кінематичні характеристики на основі формалізації і подальшого аналізу процесу функціонування моделюючої системи «транспортёр-ВК-шнек».

Якщо основним фактором змін технологічних властивостей інтенсифікації процесу відокремлення домішок є переміщення компонентів ВК, то критерієм оптимізації повинна бути функція, яка характеризує взаємозв'язок цих переміщень (руху) – ґрунтових домішок (випадок *I*, рис. 3.11) і коренеплодів (випадок *II*) залежно від зміни параметрів АВТОКРО, а також властивостей цих компонентів.

Для аналізу та побудови математичної моделі технологічного процесу роботи АТОКРО у випадку *I* (рис. 3.11) переміщення ґрунтових домішок формалізовано як рух ґрунтового середовища (сипучого ґрунту та грудок ґрунту) по поверхні витків 5 шнека 3 і прутків 2 транспортера 1.

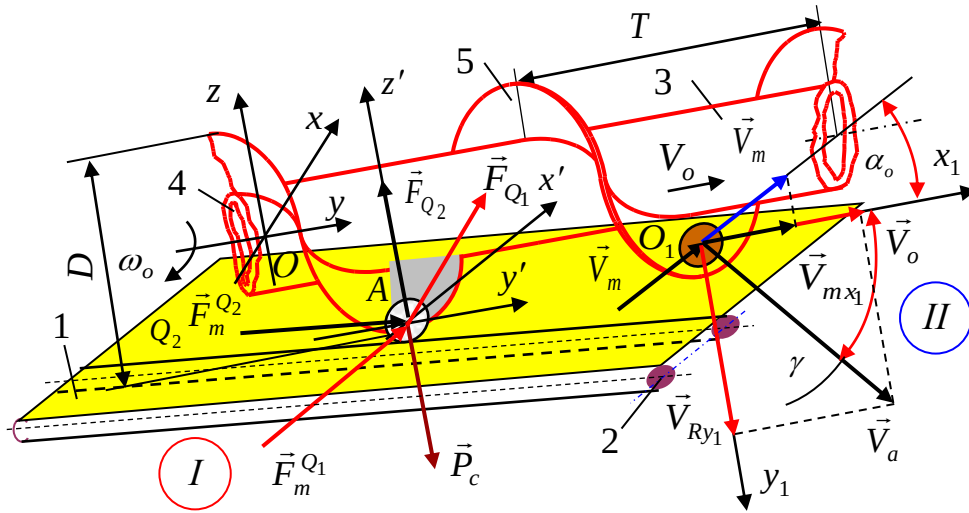


Рис. 3.11. Схема до розрахунку руху ВК
по поверхнях робочих органів АТОКРО

Для побудови динамічної математичної моделі розглянуто рух ґрунтового шару, який представлено у вигляді зв'язаного матеріального тіла масою m_c , що приведенне в точку A нерухомої системи координат $Ax'y'z'$ і знаходиться на гвинтовій поверхні Q_1 витка шнека та прутках, робоча поверхня яких утворює поверхню Q_2 та на яке діють: сила тяжіння $\vec{P}_c = (-\rho_c V_c \vec{g}; 0; 0)$, де ρ_c , V_c – питома маса (кг/м^3) і об'єм (м^3) ґрунту; сили реакції витка $\vec{F}_{Q_1} = f_{Q_1} \vec{j}_{Q_1} \sin \alpha_n$ та сила реакції прутків $\vec{F}_{Q_2} = \sum_{i=1}^{z_n} \vec{F}_{Q_2}^i = f_{Q_2} \vec{j}_{Q_2} z_n$, де f_{Q_1} , f_{Q_2} – нормальна реакції в'язі відповідної поверхні, $\alpha_n = \arctg(T / \pi D)$ – кут підйому гвинтової лінії витків шнека, град, T , D – крок і діаметр шнека (м), $\vec{j}_{Q_1}$, $\vec{j}_{Q_2}$ – одинична нормаль до відповідної поверхні, z_n – кількість контактуючих прутків; сила тертя ковзання тіла $\vec{F}_m^D = -f_m^{Q_1} |\vec{F}_{Q_1}| ((\vec{R}_A / dt) - \vec{V}_{Q_1}) / |(\vec{R}_A / dt) - \vec{V}_{Q_1}|$ по поверхні Q_1 , сила тертя ковзання тіла $\vec{F}_m^{Q_2} = -f_m^{Q_2} \left| \sum_{i=1}^{z_n} \vec{F}_{Q_2}^i \right| \sin \varphi_o ((\vec{R}_A / dt) - \vec{V}_m) / |(\vec{R}_A / dt) - \vec{V}_m|$ по поверхні Q_2 , де $f_m^{Q_1}$, $f_m^{Q_2}$ – коефіцієнт тертя ковзання відповідної поверхні, $\vec{R}_A$ – біжучий вектор положення тіла в площині $Ax'z'$, $\vec{V}_{Q_1}$, $\vec{V}_m$ – вектор швидкості руху відповідної поверхні Q_1 та Q_2 відносно точки $\vec{R}_A(t)$, при цьому $\vec{R}_A(t) = [z'_A(t); x'_A(t); y'_A(t)]$.

У момент часу $t = 0$ тіло контактує з гвинтовою поверхнею спіральних витків шнека, які встановлені відносно зовнішніх контурів поверхні прутків з постійним зазором та обертаються зустрічно напрямку вектора $\vec{V}_m$ швидкості руху транспортера з кутовою швидкістю ω_o . У цьому випадку маємо складний рух фізичного тіла, коли частинка приймає участь у відносному – вздовж поверхні витків шнека і у переносному – разом з витком шнека та одночасно у горизонтальному переміщенні в напрямку вектора $\vec{V}_m$.

Введемо нерухому просторову систему координат $Oxyz$ (рис. 3.11) у якій вісь Oy співпадає з віссю обертання шнека, а вісь Ox розташована горизонтально площині Q_2 та додаткову систему координат $Ax'y'z'$, яка безпосередньо зв'язана з центром приведеної маси m_c , тобто точкою A .

Поряд з обертальним рухом шнека на кут повороту $\varphi_A(t) = 2\pi(d\varphi_o/dt)t + \varphi$ [199] (де φ_A – кут, який визначає положення матеріального тіла відносно вертикальної площини $x'Az'$ за час повороту t , $d\varphi_o/dt = \omega_o$ – кутова швидкість шнека (рад/с), $\varphi = const$ – відносний кут повороту шнека при $t = 0$, $d\varphi/dt = \omega$ – кутова швидкість відносного руху матеріального тіла), шнек здійснює плоско паралельний рух у площині $x'Ay'$, переміщення якого задано канонічним рівнянням [237]:

$$[z'_A(t); y'_A(t); x'_A(t)] = [z'_A(t); y'_A(t); 0], \quad t \geq 0, \quad (3.90)$$

де за умови $y' = 0$ згідно з [199, 238] z'_A і y'_A можна задати у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} z'_A(t) &= -f[\varphi_A(t)\cos\varphi_A(t)] + g[\varphi_A(t)\sin\varphi_A(t)]; \\ y'_A(t) &= -f[\varphi_A(t)\sin\varphi_A(t)] - g[\varphi_A(t)\cos\varphi_A(t)] \end{aligned} \right\}. \quad (3.91)$$

Рівняння руху частинки матеріалу приведеною масою m_c у нерухомій системі координат Oxy згідно з класичними законами механіки [239] у векторній формі запишеться у наступному вигляді

$$m_c \frac{d^2 \vec{z}'}{dt^2} = m_c \frac{d^2 \vec{R}_A}{dt^2} = \vec{P}_c + \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^{z_n} \vec{F}_{Q_k}^i + \sum_{k=1}^2 \vec{F}_m^k; \quad t > 0. \quad (3.92)$$

Рішення задачі зводиться до знаходження реакцій в'язі поверхні витка шнека f_{Q_1} та поверхні прутка транспортера f_{Q_2} . Для цього запишемо положення одиничних нормалей $\vec{j}_{Q_1}$ і $\vec{j}_{Q_2}$, які перпендикулярні до площин відповідних поверхонь контакту частинки матеріалу, записавши спочатку рівняння, якими задані поверхні шнека та прутка транспортера.

Згідно з [239, 199] канонічний вигляд рівняння поверхні шнека Q_1 та прутка Q_2 (прямого кругового циліндра) задані відношеннями

$$Q_1(R; \varphi; y') \equiv y' + 0,5Dtg\alpha_n(\varphi - \varphi_A) = 0; \quad Q_2(x'; y'; z') \equiv (z')^2 + (y')^2 = 0,25D^2. \quad (2.93)$$

Тоді згідно з (2.93) одержано запис положення рівняння одиничних нормалей до відповідних поверхонь Q_1 і Q_2

$$\vec{j}_{Q_1} = (-\pi Dtg\alpha_n \sin \varphi_o; \pi Dtg\alpha_n \cos \varphi_o; \pi D) / a(R_A); \quad \vec{j}_{Q_2} = (-\cos \varphi_o; -\sin \varphi_o; 0), \quad (3.93)$$

де $a(R_A) = R_A tg\alpha_n$ – параметр шнека.

З урахуванням канонічного рівняння обертання шнека та його поступального руху згідно з (3.90), (3.91), одержано:

$$\vec{V}_{Q_1} = \frac{d}{dt} [0,5D \cos \varphi_A(t); 0,5D \sin \varphi_A(t); 0] + \frac{d}{dt} [z'_A(t); x'_A(t); 0], \quad (3.94)$$

або

$$\vec{V}_{Q_1} = (-2\pi(d\varphi_o / dt) \cdot x' + dz'_A / dt; (dy'_A / dt) + 2\pi(d\varphi_o / dt) \cdot z'; 0). \quad (3.95)$$

Для знаходження реакції в'язі f_{Q_1} , f_{Q_2} підставимо значення складових у рівняння (3.92) та помножимо його на скалярне значення $\vec{j}_{Q_1}$, $\vec{j}_{Q_2}$ згідно з (3.93) та одержимо два наслідки поведінки системи «транспортер-сипкий ґрунт-шнек»:

$$0 = -2\pi\rho_c V_c g \sin \varphi_o - \frac{2\pi}{tg\alpha_n} \rho_c V_c g + f_m^{Q_1} - \\ - f_m^{Q_2} f_{Q_2} \frac{2\pi^2 D}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right) + 2\pi f_m^{Q_1} f_{Q_1} \frac{\left[\frac{d(x'_A)}{dt} \cos \varphi_o - \frac{d(z'_A)}{dt} \sin \varphi_o \right]}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_{Q_1} \right|}; \quad (3.96)$$

$$0,5\rho_c V_c D \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 = -\rho_c V_c g \cos \varphi_o + f_m^{Q_2} -$$

$$- \frac{f_m^{Q_1} f_{Q_1} \left[\frac{d(z'_A)}{dt} \cos \varphi_o + \frac{d(x'_A)}{dt} \sin \varphi_o \right] \sin \alpha_n}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_{Q_1} \right|} \quad (3.97)$$

У результаті рішення системи рівнянь (3.96) і (3.97) відносно $\vec{j}_{Q_1}$, $\vec{j}_{Q_2}$, одержано:

$$f_{Q_1} = 2\rho_c V_c \left[\frac{\frac{f_m^{Q_2} \pi^2 D z_n \frac{d\varphi_o}{dt}}{2 \left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} \left[D \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 + g \cos \varphi_o \right] + \right. \\ \left. + \frac{\pi g (\sin \varphi_o + \operatorname{ctg} \alpha_n)}{1 + \frac{2\pi f_m^{Q_1}}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_{Q_1} \right|} \left(\frac{d(x'_A)}{dt} \cos \varphi_o - \frac{d(z'_A)}{dt} \sin \varphi_o - \right. \right.} \right] ; \quad (3.98)$$

$$\left. - f_m^{Q_2} \left(\frac{d(y'_A)}{dt} \sin \varphi_o + \frac{d(z'_A)}{dt} \cos \varphi_o \right) \frac{\pi D (d\varphi_o / dt)}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} \right)$$

$$f_{Q_2} = \rho_c V_c \left[0,5 D \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 + g \cos \varphi_o \right] +$$

$$+ f_m^{Q_1} f_{Q_1} \sin \varphi_o \frac{\left[\frac{d(z'_A)}{dt} \cos \varphi_o + \frac{d(x'_A)}{dt} \sin \varphi_o \right] \sin \alpha_n}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \frac{d}{dt} [0,5 D \cos \varphi_A(t); 0,5 D \sin \varphi_A(t)] - \frac{d}{dt} [z'_A(t); x'_A(t); 0] \right|} \quad , \quad (3.99)$$

при цьому порядок виведення (перетворення та спрощення) залежностей (3.98) і (3.99) наведено у додатку В.4.3.

Після підстановки реакцій в'язі відповідних поверхонь f_{Q_1} і f_{Q_2} з рівнянь (3.98), (3.99) у рівняння руху (3.92) одержано диференціальне рівняння руху ґрунтового шару (матеріального тіла) приведеною масою m_c по робочих поверхнях АТОКРО:

$$\rho_c V_c \pi D t g \alpha_n \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 = 2\pi (\rho_c V_c g - f_{Q_1} \cos \alpha_n \cos \varphi_o) - \pi D z_n (tg \alpha_n - 1) \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right) \times$$

$$\times \left[\frac{f_m^{Q_2} f_{Q_2}}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} - \frac{f_m^{Q_1} f_{Q_2} \sin \varphi_o}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \frac{d}{dt} \left[0,5D \cos \varphi_A(t); 0,5D \sin \varphi_A(t) + \frac{d}{dt} [z'_A(t); x'_A(t); 0] \right] \right|} \right], \quad (3.100)$$

при цьому порядок перетворення та спрощення залежності (3.100) наведено в додатку В.5.3.

Одержані диференціальні залежності (3.98)-(3.100), є математичною моделлю, яка характеризує технологічний процес переміщення ґрунтових домішок по робочих органах АТОКРО залежно від його параметрів. При цьому необхідно зауважити, що математична модель адекватна лише за умови, коли реакція в'язі поверхні витка шнека $f_{Q_1} \neq 0$. Якщо дана умова не виконується, то тіло втрачає контакт з поверхнею витка шнека, а рівняння (3.100) не адекватно описує реальний процес руху ґрунтового шару по робочих органах АТОКРО.

У випадку II (рис. 3.11), який характеризує процес взаємодії коренеплоду з витком шнека, критерієм оптимізації кінематичного аналізу інтенсифікації відокремлення домішок від ВК, є скалярне значення та векторний напрямок абсолютної швидкості $\vec{V}_a$ (м/с) переміщення коренеплоду L_k (м) після його взаємодії з витком 5 шнека 3.

Процес переміщення коренеплоду розглянемо в аспекті руху твердого тіла по поверхні робочої гілки транспортера після його контакту з витком шнека. Для рішення даної задачі та формалізації процесу моделюючої системи «транспортер-коренеплід-шнек» приймаємо певні обмеження та припущення:

- коренеплоди на поверхні робочої гілки транспортера розмішуються в один шар, що є передумовою найбільш ефективного відокремлення вільних домішок з складу ВК;

- тривалість контакту коренеплоду з витком шнека безкінцево мала, а швидкість руху після контакту змінюється тільки у коренеплоду з умови, що маса коренеплоду m_k набагато менша за масу шнека $m_{ш}$, тобто $m_{ш} \gg m_k$;

- тіло коренеплоду має не пружні властивості;
- нехтуємо силами тертя коренеплоду з прутками транспортера.

Ефективність відокремлення домішок від коренеплодів, або показники якості роботи АТОКРО (ступінь відокремлення вільного та налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів, вільних рослинних домішок і зв'язаної гички на головках коренеплодів кормових буряків) значно залежить від встановлених значень основних конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи робочих органів АТОКРО: подавального транспортера 1 (рис. 3.2); шнека 3 з пружними очисними елементами 7; пари відминальних вальців 6.

Для обґрунтування основних параметрів АТОКРО розглянемо випадок II складеної розрахункової схеми, яку наведено на рис. 3.11.

Коренеплід зі швидкістю руху V_m подавального транспортера 1, надходить до шнека 3, який обертається зустрічно напрямку руху коренеплоду з кутовою швидкістю ω_o . Коренеплід, з початковою швидкістю V_m , після контакту з витком 5 шнека у точці O_1 , відбивається від витка з результуючою швидкістю V_a та рухається у напрямку її вектора $\vec{V}_a$. При цьому проекція $\vec{V}_a$ на горизонтальну площину $O_1x_1y_1$ з вектором швидкості осьового переміщення витка шнека $\vec{V}_o$ утворює кут відбивання γ , град. При досягненні умови $V_a = dL_k / dt = 0$, коренеплід зі швидкістю транспортера 1 знову переміщується в напрямку вектора $\vec{V}_m$, який направлено відносно осі обертання шнека під кутом α_o , та знову зазнає ударної взаємодії.

Тому можна зробити висновок, що раціональна робота АТОКРО (ступінь очищення ВК від домішок, а особливо налиплого ґрунту на тілі коренеплодів, їх пошкодження) буде тоді, коли коренеплід рухається вздовж осі обертання шнека 3, тобто за умови $\gamma = 0$.

Тоді цільову функцію критерію оптимізації, який характеризує умову забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів і ефективності технологічного процесу роботи АТОКРО записано у вигляді [240]

$$\gamma = f_{\gamma}(\alpha_o, \omega_o, D, V_m) \rightarrow 0. \quad (3.101)$$

Для визначення кута γ і скалярного значення V_a повернемо осі координат Ox_1y_1 на кут α_o , або так, щоб вісь O_1x_1 була направлена вздовж осі обертання шнека в бік переміщення коренеплоду та розглянемо складену схему плану швидкостей руху коренеплоду процесу його взаємодії з витком шнека, яку наведено на рис. 3.12.

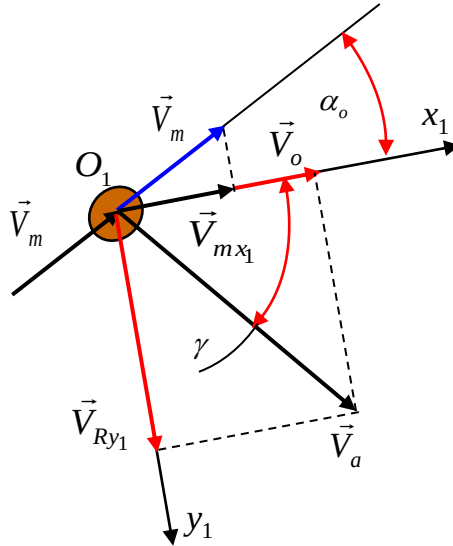


Рис. 3.12. План швидкостей процесу взаємодії коренеплоду з витком шнека АТОКРО

Згідно з теоремою косинусів і рис. 3.12, маємо:

$$V_{Ry_1}^2 = V_a^2 + (V_{mx_1} + V_o)^2 - 2V_a(V_{mx_1} + V_o)\cos \gamma, \quad (3.102)$$

де $V_m = 0,5d_m(d\varphi_m/dt)$ – швидкість руху транспортера (м/с), d_m , $d\varphi_m/dt = \omega_m$ – діаметр (м) і кутова швидкість (рад/с) ведучої зірочки приводного вала транспортера; $V_R = 0,5D(d\varphi_0/dt)$ – колова швидкість шнека (м/с); $V_o = 0,5Dk_V \tan \alpha_n(d\omega_o/dt)$ – швидкість осьового переміщення витків, k_V – коефіцієнт, який враховує зниження V_o відносно теоретичної; $\cos \gamma$ – косинус кута між напрямками векторів абсолютної швидкості руху коренеплоду $\vec{V}_a$ і $\vec{V}_{mx_1} + \vec{V}_o$, $\vec{V}_{mx_1}$ – проекція вектора швидкості руху транспортера $\vec{V}_m$ на вісь O_1x_1 .

З урахуванням накладеної умови $V_a = dL_k/dt = 0$ та перетворення (3.102), одержано диференціальне рівняння:

$$\left(\frac{dL_k}{dt}\right)^2 - 2\left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o\right) \cos \gamma \frac{dL_k}{dt} + \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o\right)^2 - V_R^2 \cos^2 \varphi_o = 0. \quad (3.103)$$

Позначивши у залежності (3.103) складові через

$$\frac{dL_k}{dt} = x; \quad \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o\right) \cos \gamma = p; \quad \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o\right)^2 - V_R^2 \cos^2 \varphi_o = q, \quad (3.104)$$

одержимо канонічну форму приведенного квадратного рівняння, рішення якого відносно x , або dL_k / dt має вигляд (додаток В.6.3)

$$\frac{dL_k}{dt} = \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o\right) \cos \gamma \pm \sqrt{\left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o\right)^2 (\cos^2 \gamma - 1) + V_R^2 \cos^2 \varphi_o} = 0, \quad (3.105)$$

або, після підстановки скалярних значень складових швидкостей у (3.105) одержано:

$$\begin{aligned} \frac{dL_k}{dt} = & \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right) \cos \gamma \pm \\ & \pm \sqrt{\left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 (\cos^2 \gamma - 1) + \left(\frac{\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o}. \end{aligned} \quad (3.106)$$

Якщо переміщення коренеплоду L_k в процесі його співудару з витком шнека відсутнє, тобто дорівнює нулю, або $L_k = 0$, тоді і результуюча швидкість взаємодії коренеплоду також дорівнює нулю, або $V_a = 0$. У цьому випадку коренеплоди не відбиваються від поверхні витка шнека, а після контакту з витком пересуваються ним вздовж напрямку осьового переміщення витків шнека. Даний випадок поведінки АТОКРО є найраціональнішим з точки зору забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів.

Зважаючи на це та враховуючи (3.106) можна записати [241]

$$\begin{aligned} & \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right) \cos \gamma \pm \\ & \pm \sqrt{\left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 (\cos^2 \gamma - 1) + \left(\frac{\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o} = 0 \end{aligned} \quad (3.107)$$

Для визначення кута відбивання коренеплоду γ проведемо відповідні перетворення залежності (3.107) (рівність піднесемо до квадрату), тобто

$$\begin{aligned} & \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 \cos^2 \gamma \pm \\ & \pm \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 (\cos^2 \gamma - 1) = - \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o \end{aligned} \quad (3.108)$$

або після відповідних перетворень маємо (додаток В.7.3)

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o \cos^2 \alpha_o}{\left(\frac{d\varphi_m}{dt} d_m + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \cos \alpha_o \right)^2}}. \quad (3.109)$$

Таким чином запис умови критерію оптимізації параметрів і режимів роботи АТОКРО має вигляд

$$\gamma = \arccos \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o \cos^2 \alpha_o}{\left(\frac{d\varphi_m}{dt} d_m + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \cos \alpha_o \right)^2}} = 0. \quad (3.110)$$

Одержане диференціальне рівняння (3.110) є математичною моделлю, яка характеризує зміну кута відбивання коренеплоду γ після його взаємодії з витком шнека від основних конструктивно-кінематичних параметрів АТОКРО, або напрямком переміщення (руху) коренеплоду після контакту з витком шнека за умови забезпечення його мінімальних пошкоджень згідно з агротехнічними вимогами до КМ.

Аналіз побудованих згідно з (3.110) графічних залежностей (рис. 3.13) показує, що умова $\gamma=0$, або коли напрямок вектора абсолютної швидкості співудару $\vec{V}_a$ коренеплоду з витком шнека співпадає з напрямком $\vec{V}_o$, функціонально виконується для діаметра $0,4 \leq D \leq 0,7$ м, $7 \leq \omega_o \leq 12$ (рад/с) при значеннях: $k_v = 0,7$; $V_m = 1,6$ м/с; $\alpha_o = \pi/3$ рад, $\alpha_n = \pi/6$ рад.

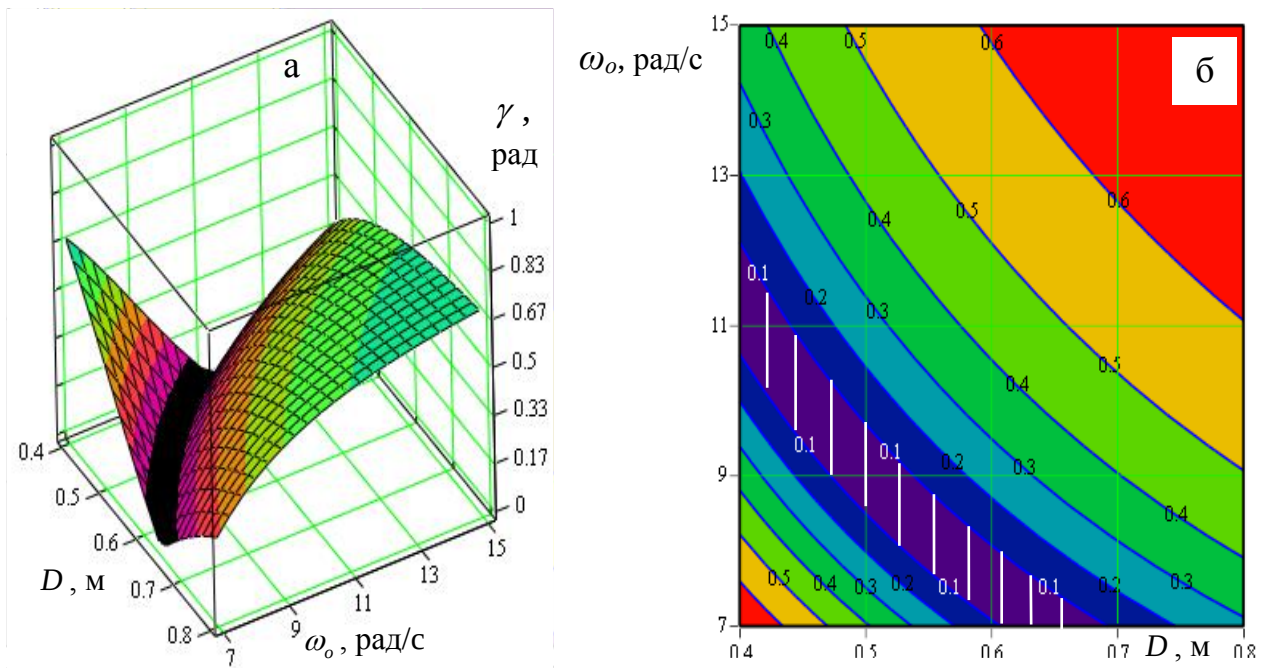


Рис. 3. 13. Залежність (а) та її двовірний переріз (б) зміни γ від D, ω_0

Крім того, можна констатувати, що зміна кута γ у значній мірі залежить від значення кута устанавлення шнека α_0 відносно початкового напрямку руху коренеплодів. Найраціональніший режим роботи АТОКРО буде за умови, коли кут відбивання коренеплодів $\gamma = 0$ тобто, коли коренеплоди після контактної взаємодії з витком шнека рухаються вздовж осі обертання шнека АТОКРО. При цьому згідно з рис. 3.14 дана умова забезпечується при значенні кута встановлення шнека α у межах $\alpha \cong 59 \dots 62$ (град) за відповідної зміни кутової швидкості шнека $\omega = 7 \dots 15$ (рад/с) для $V_m = 1,6$ м/с, $D = 0,8$ м і кута підйому гвинтової лінії витків шнека $\beta = 30^\circ$.

Таким чином можна констатувати, що найраціональніший режим роботи АТОКРО забезпечується при встановленні шнека під кутом $\alpha = 60$ град відносно напрямку руху ВК для встановлених інших меж зміни конструктивно-кінематичних параметрів АТОКРО.

Критерієм ефективності технологічного процесу роботи АТОКРО, є також показник ступеня пошкодження коренеплоду, яке виникає у процесі його взаємодії з витком шнека. Даний критерій оптимізації параметрів АТОКРО виражено через коефіцієнт динамічного ефекту роботи K_{Π} АТОКРО, фізична

суть якого – відношення абсолютної результуючої швидкості руху коренеплоду V_a після його взаємодії з витком шнека до визначеної експериментальним шляхом допустимої критичної швидкості прямого центрального співудару коренеплоду з металевою поверхнею $[V_{kp}]$, або $K_{II} = V_a / [V_{kp}] \leq 1$.

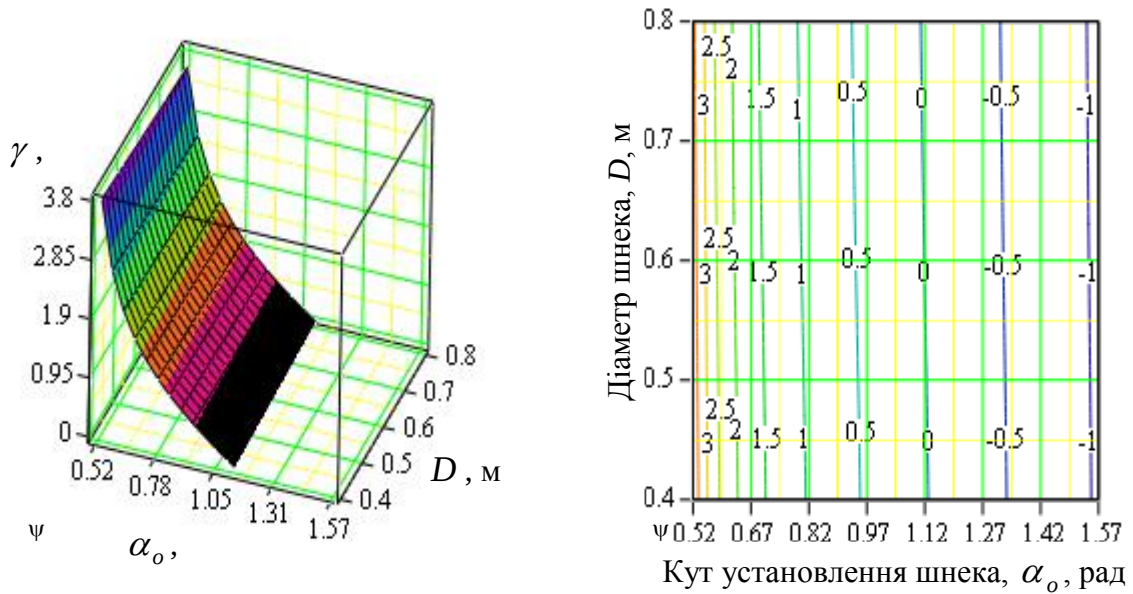


Рис. 3.14. Залежність зміни кута відбивання коренеплодів γ як функціонала $\gamma = f_{\gamma}(D, \alpha_o)$ для $\omega_o = 11$ рад/с

Після визначення скалярного значення абсолютної швидкості руху коренеплоду V_a (додаток В.8.3) в результаті його взаємодії з витком шнека одержано формулу для визначення коефіцієнта динамічного ефекту роботи K_{II} АВТОКРО [241, 242]

$$K_{II} = \frac{1}{2[V_{kp}]\cos \alpha_o} \sqrt{\left(\frac{d\varphi_o}{dt}\right)^2 D^2 (\cos^2 \varphi_o + k_v^2 \tan^2 \alpha_n) + \frac{d\varphi_m}{dt} d_m \left(2 \frac{d\varphi_o}{dt} D k_v \tan \alpha_n \cos \alpha_o + \frac{d\varphi_m}{dt} d_m \right)} \leq 1. \quad (3.111)$$

Одержане диференціальне рівняння (3.111) характеризує ефективність роботи, або залежність зміни коефіцієнта динамічного ефекту роботи K_{II} АТОКРО від його основних конструктивно-кінематичних параметрів.

Згідно з результатами проведених досліджень [182, 243, 244] було встановлено, що максимально допустима швидкість одноразового співудару

$[V_{kr}]$ коренеплодів із металевою поверхнею, знаходиться у межах $3,1 \dots 3,3$ м/с залежно від культури та сорту коренеплодів, їх агротехніки вирощування, терміну збирання тощо. У цих випадках ймовірні пошкодження коренеплодів не будуть перевищувати допустимі межі пошкоджень згідно з встановленими агротехнічними вимогами. Також було встановлено, що максимальна сепарація ґрунту прутковим транспортером спостерігається за його поступальної швидкості руху, яка знаходиться у межах $1,5 \leq V_m \leq 1,6$ (м/с). При $V_m > 1,6$ м/с – збільшення сепарації ґрунту практично не відбувається [243].

При початкових умовах $[V_{kr}] = 3,1$ м/с, $V_m = 1,6$ м/с, $k_v = 0,7$ побудовано залежності зміни коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_{II} \leq 1,0$: рис. 3.15 – від ω_o, α_o тобто $K_{II} = f_{II}(\omega_o, \alpha_o) \leq 1$; рис. 3.16 – від ω_o, D , тобто $K_T = f(\omega_o, D) \leq 1,0$.

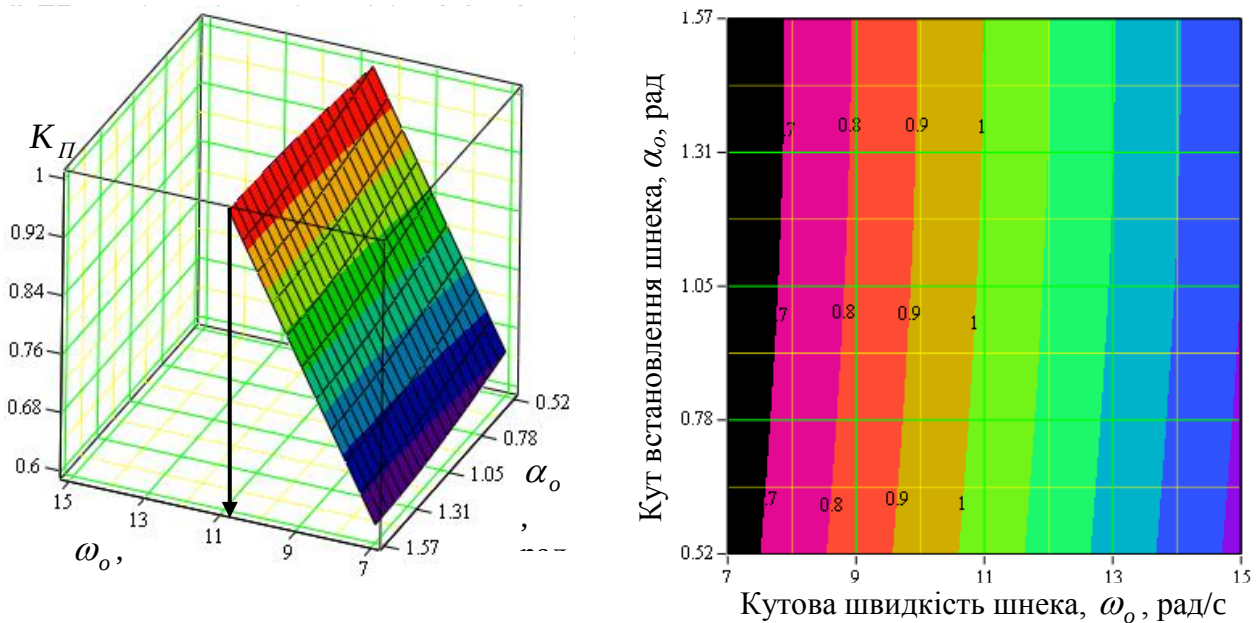


Рис. 3.15. Залежність зміни $K_{II} \leq 1$ від ω_o, α_o

Графоаналітичним аналізом встановлено, що умова $K_1 \leq 1$, або забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів згідно з агротехнічними вимогами до КМ, функціонально виконується за таких співвідношень конструктивно-технологічних параметрів АТОКРО: $\omega_o \leq 11$ рад/с та встановлення шнека діаметром $D = 0,6$ м під кутом $\pi/6 \leq \alpha_o \leq \pi/2$ (рад), рис. 3.15; $D = 0,8$ м, $\alpha_o = \pi/3$ рад, $\omega_o \leq 9$ рад/с; $\omega_o = 15$ рад/с, $D \leq 0,45$ м, $\alpha_o = \pi/6$ рад, рис. 3.16.

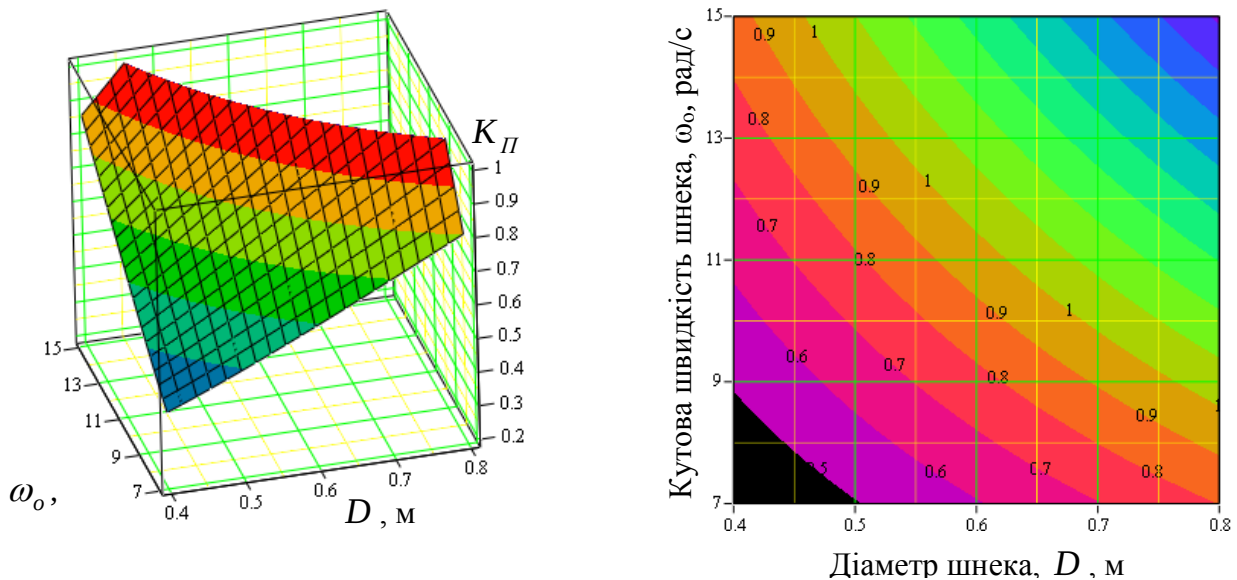


Рис. 3.16. Залежність зміни $K_{\Pi} \leq 1$ від ω_o, D

Крім того, наведені графічні залежності (рис. 3.14-3.16) наочно підтверджують доцільність використання шнека, розміщеного під кутом до напрямку руху ВК, як робочого органу для інтенсифікації відокремлення домішок від коренеплодів при задовільних показниках їх пошкодження.

3.4. Попередні висновки до розділу

Виходячи з проведеного теоретичного аналізу технологічного процесу роботи ТТС і АКМ загалом, сформульовано наступні висновки.

3.1. Розроблено детерміновані математичні моделі, які характеризують зміну інтенсифікації технологічного процесу відокремлення потоку компонентів від викопаного ВК протягом часу залежно від конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів ТТС і АКМ загалом та їх умов роботи.

3.2. Розроблено детерміновані математичні моделі, які характеризують взаємозв'язок зміни надходження загальної подачі домішок і подач складових компонента домішок ВК на протязі часу залежно від параметрів АВТОКРО, розмірно-масових характеристик форм коренеплодів і умов роботи АКМ, при цьому загальна секундна подача ВК та домішок змінюється в межах 20...30 і 3...17 кг/с за швидкості руху викопувального диска 1,6 м/с та його діаметра 0,45 м.

3.2. Встановлено, що при збільшення урожайності коренеплодів із 100 до 700 ц/га загальна секундна подача домішок зменшується в незначних межах – у середньому на 10 кг/с, при цьому існує тісний прямо пропорційний зв'язок зміни секундних подач складових компонентів ВК залежно від зміни швидкості руху АВТОКРО, кількості рядків, урожайності коренеплодів і гички.

3.3. Констатовано, що характер зміни секундних подач рослинних домішок залежно від швидкості руху V_k АВТОКРО та кількості рядків N_k аналогічний характеру зміни загальної секундної подачі Q_T та загальної секундної подачі домішок Q_{Td} ВК, при цьому, залежно від збільшення V_k , приріст секундних подач загальних рослинних домішок і їх складових компонентів – залишків гички на головках коренеплодів і бур'янів незначний та становить у середньому 0,01 кг/с на відміну від приросту Q_T , значення якого знаходяться в межах 10...15 кг/с.

3.4. Одержані диференціальні залежності (3.98)-(3.100), є математичною моделлю, яка характеризує технологічний процес переміщення ґрунтових домішок по робочих органах АТОКРО залежно від його параметрів, а модель адекватна лише за умови, коли реакція в'язі поверхні витка шнека $f_{Q_1} \neq 0$. Якщо умова не виконується, то тіло втрачає контакт з поверхнею витка шнека, а рівняння (3.100) не адекватно описує реальний процес руху ґрунтового шару по робочих органах АТОКРО

3.5. Найраціональніший режим роботи АТОКРО буде за умови, коли кут відбивання коренеплодів $\gamma = 0$ тобто, коли коренеплоди після контактної взаємодії з витком шнека рухаються вздовж осі обертання шнека АТОКРО. Умова забезпечується при значенні кута встановлення шнека у межах $\alpha \cong 59...62$ (град) за відповідної зміни кутової швидкості шнека $\omega = 7...15$ (рад/с) для $V_m = 1,6$ м/с, $D = 0,8$ м і кута підйому гвинтової лінії витків шнека $\beta = 30^\circ$.

3.6. Встановлено, що умова $K_1 \leq 1$, або забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів згідно з агротехнічними вимогами до КМ, функціонально виконується за таких співвідношень конструктивно-технологічних параметрів параметрів АТОКРО: $\omega_0 \leq 11$ рад/с та встановлення шнека діаметром $D = 0,6$ м

під кутом $\pi/6 \leq \alpha_o \leq \pi/2$ (рад), рис. 3.15; $D = 0,8$ м, $\alpha_o = \pi/3$ рад, $\omega_o \leq 9$ рад/с; $\omega_o = 15$ рад/с, $D \leq 0,45$ м, $\alpha_o = \pi/6$ рад, рис. 3.16.

3.7. 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 13, 11 і 9 рад/с.

РОЗДІЛ 4
ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
АДАПТОВАНОЇ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

4.1. Програма, об'єкт, предмет і методика проведення експериментальних досліджень

Згідно визначеної мети та поставлених наукових завдань, а також відповідності та адекватності теоретичного аналізу технологічного процесу викопування коренеплодів АКМ, програма експериментальних досліджень включає такі питання:

1. На основі проведеного аналізу роботи КМ обґрунтувати технологічний процес збирання коренеплодів і розробити конструктивно-технологічну схему АКМ.

2. Провести лабораторно-польові дослідження основних показників технологічної ефективності процесу викопування коренеплодів АВТОКРО та обґрунтувати його раціональні конструктивно-кінематичні параметри та режими роботи:

- визначити функціональну залежність зміни коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_A^{(e)}$ АВТОКРО та часткових коефіцієнтів $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$, що враховують ступінь зниження подачі ґрунтових і рослинних домішок та коефіцієнта втрат коренеплодів $K_{1k}^{(e)}$ залежно від швидкості руху АКМ і частоти обертання приводного вала;

- встановити залежності зміни загальної секундної подачі ВК, секундної подачі загальних ґрунтових і рослинних домішок і секундної подачі коренеплодів від поступальної швидкості руху машини та частоти обертання приводного вала;

3. Провести лабораторні дослідження процесу переміщення коренеплодів по робочих поверхнях АТОКРО та обґрунтувати його раціональні конструктивно-кінематичні параметри та режими роботи:

- встановити залежності зміни кута відбивання коренеплоду після їх взаємодії з витком шнека АТОКРО залежно від діаметра шнека та кута його встановлення відносно початкового напрямку руху коренеплодів;

- визначити функціональну залежність зміни коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_H^{(e)}$ АТОКРО, який ступінь пошкодження коренеплодів залежно від діаметра і частоти обертання шнека та кута його встановлення відносно початкового напрямку руху коренеплодів.

4. Провести порівняльні дослідження технологічної ефективності застосування АКМ та базової машини в польових умовах господарства.

Об'єктом експериментальних досліджень є технологічний процес викопування коренеплодів і робочі органи АВТОКРО та АТОКРО АКМ.

Предметом дослідження є конструктивно-кінематичні параметри робочих органів АКМ і характер впливу їх взаємодії на показники якості виконання технологічного процесу збирання коренеплодів.

При проведенні експериментальних досліджень структурну модель ТТС і АКМ загалом представляли у вигляді багатомірної „вхідної-вихідної” системи (рис. 3.1), або, так званого, кібернетичного поняття “чорного ящика” [245]. Вхідними величинами, або змінними факторами даної структурної моделі копача є його конструктивно-кінематичні параметри, а вихідними величинами, або параметрами оптимізації – основні технологічні показники та показники якості роботи

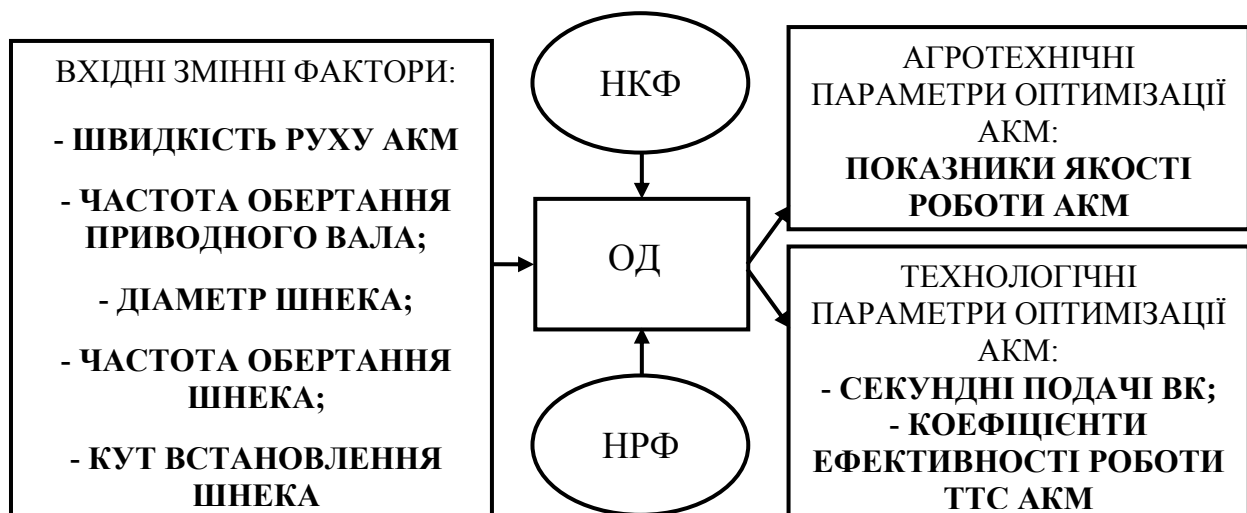


Рис. 4.1. Структурна модель об'єкту дослідження

ТТС АКМ.

Експериментальні дослідження технологічного процесу функціонування структурної моделі загалом зводяться до встановлення характерних принципів впливу кожного вхідного фактора та їх сумісного впливу під час взаємодії факторів на об'єкт дослідження або на вихідні параметри оптимізації, тобто до встановлення регресійних залежностей, які функціонально характеризують зміну агротехнічних показників якості роботи та технологічних показників функціонування ТТС і АКМ від їх конструктивно-кінематичних параметрів.

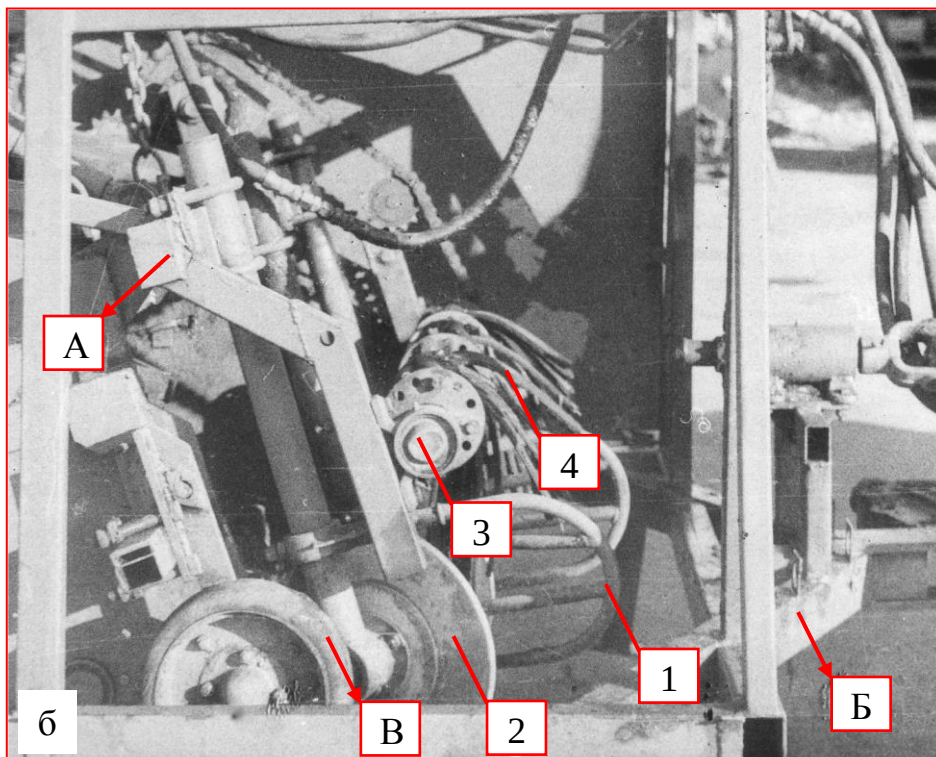


Рис. 4.2. Загальний вигляд: а – АКМ; б – АВТОКРО

Для реалізації проведення експериментальних досліджень залежності зміни коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_A^{(e)}$ АВТОКРО та часткових коефіцієнтів $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$, $K_{1k}^{(e)}$, зміни загальної секундної подачі $Q_1^{(e)}$ ВК та складових компонентів ВК – секундної подачі загальних ґрунтових $Q_{1\rho}^{(e)}$ і рослинних $Q_{1p}^{(e)}$ домішок, секундної подачі коренеплодів $Q_{1k}^{(e)}$ залежно від поступальної швидкості руху V_k АКМ як функціонала $Q_{1i}^{(e)} = f_{1i}(V_k)$, а також зміни загальної секундної подачі $Q_2^{(e)}$ ВК та складових компонентів ВК – секундної подачі загальних ґрунтових $Q_{2\rho}^{(e)}$ і рослинних $Q_{2p}^{(e)}$ домішок, секундної подачі коренеплодів $Q_{1k}^{(e)}$ залежно від поступальної швидкості руху V_k АКМ та частоти обертання приводного вала n_k як функціонала $Q_{2i}^{(e)} = f_{2i}(V_k, n_k)$, було використано розроблену та виготовлену в ННЦ “ІМЕСГ” експериментальну лабораторно-польову установку трирядної АКМ, конструктивна схема якої наведена на рис. 2.23, 2.25, а її загальний вигляд – на рис. 4.2а. На рис. 4.2б наведено загальний вигляд АВТОКРО АКМ [246]. Агрегатувалася трирядна АКМ з трактором МТЗ-82.

Будова та технологічний процес роботи АКМ наступні.

На рухомій шарнірній рамі А (рис. 4.2б), яка встановлена на основній рамі Б трирядної лабораторно-польової установки та яка опирається на опорні колеса В змонтовано АВТОКРО I (рис. 2.23). Він складається із встановлених під кутом α до осі рядка коренеплодів сферичних дисків 2 та встановлених у передній зоні робочої кромки кожного з сферичних дисків корененапрямлячів 1. Над дисками, перпендикулярно напрямленню робочої швидкості руху копача V_k , встановлено горизонтальний приводний вал 3 на якому закріплено плоскі пружні лопаті 4. За сферичними дисками послідовно встановлено ТТС II та АТОКРО III. ТТС є з'єднувальною ланкою між АВТОКРО і АТОКРО та являє собою розміщені послідовно один за одним підбиральний валець 5 і похилий прутковий транспортер 6. За робочим сходом пруткового транспортера 6, змонтовано подавальний транспортер 7 над яким з зазором відносно робочої

гілки транспортера 7 встановлено шнек 8 із закріпленими на ньому пружними очисними елементами 9. За шнеком у сторону вихідного кінця подавального транспортера встановлено пару відминальних вальців 10.

Лабораторно-польова установка має поперечний 11 та вивантажувальний 12 транспортери, а також копіювальні колеса В (рис. 4.2б) із механізмом регулювання глибини ходу сферичних дисків, елементи гідравлічного обладнання, які з'єднані з гідросистемою трактора. Привод робочих органів польової експериментальної установки здійснюється від ВВП трактора МТЗ-82.

Умови проведення польових досліджень, характеристику культури та технічну характеристику лабораторно-польової установки наведено в табл. 4.1.

Корененапрямники 1, рухаючись в міжряддях посівів коренеплодів, зміщують відхилені від осьової лінії рядка і повалені, у процесі зрізування основного масиву гички гичкозбиральною машиною, коренеплоди в робочі зони дії сферичних дисків 2. Одночасно із викопуванням коренеплодів пружні лопаті 4 наносять удари по головках коренеплодів і очищають їх від залишків гички. Окрім того пружні лопаті взаємодіють з грудками ґрунту та поверхнею тіла викопаних коренеплодів, при цьому частково руйнують грудки ґрунту та очищують тіло коренеплодів від налиплого на їх поверхні ґрунту. Нахиляючись, очисні елементи 6 утворюють необхідні динамічні зусилля, що при одночасному обертанні дисків забезпечує ефективне і повне викопування із ґрунту розташованих в рядках і повалених коренеплодів та подачу їх на підбиральний валець 5 і похилий транспортер 6, де частина дрібних рослинних домішок і сипкого ґрунту, які містяться в ВК, просіюється через зазори між прутками транспортера. Далі викопаний ворох поступає до транспортера 7, який переміщує його до шнека 8. Витки шнека, взаємодіючи з коренеплодами, пересувають їх в бік, тобто знімають їх з транспортера, при цьому відбуваються випадки співудару грудок ґрунту з поверхнею шнека. Грудки ґрунту руйнуються і весь сипкий ґрунт і дрібні рослинні домішки просіюються в отвір між прутками транспортера, а не просіяні – сходять з нього, проходячи через зазор між витками шнека і транспортером. За мірою пересування коренеплодів

Таблиця 4.1.

Умови проведення порівняльних досліджень АВТОКРО, характеристика культури, ділянки та параметрів АВОКРО

Найменування показників	Значення показників за даними досліджень			
	КБ	ЦБ	СБ	М
1	2	3	4	5
Тип ґрунту і назва за механічним складом	Чорнозем опідзолений, легкосуглин- ковий	Чорнозем опідзолений	Чорнозем, середньогумус- ний, середньо- суглинковий	Чорнозем, середньогумус- ний, середньо- суглинковий
Рельєф поля	Рівнинний	Хвилястий	Рівнинний	Рівнинний
Мікрорельєф ділянки	Рівний	Рівний	Рівний	Рівний
Вологість ґрунту, % у шарі, см: від 0 до 10 більше 10 до 20 більше 20 до 30	18,4 21,3 23,1	18,1 21,4 19,2	21,5 22,1 -	21,5 22,1 21,8
Щільність ґрунту, мПа в шарі, см: від 0 до 10 більше 10 до 20 більше 20 до 30	2,8 4,1 3,4	3,1 4,8 4,6	2,9 3,5 -	2,9 3,5 3,2
Сорт коренеплодів	Київський	Уладівський	Циліндра	Шантанне
Ширина міжрядь, см: - середня - середньоквадратичне відхилення, $\pm$ см	45,6 2,9	45,7 0,7	45,3 1,1	45,8 1,3
Урожайність коренеплодів, ц/га	551,5	264,3	187,4	143,9

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
Урожайність гички, ц/га	123,1	73,5	45,2	35,6
Висота розташування головок коренеплодів відносно поверхні поля, %				
-20...0 (мм)	-	76,8	-	95,3
+0...20 (мм)	13,8	19,7	3,1	3,1
+20...40 (мм)	38,6	3,5	15,6	1,6
+40...60 (мм)	24,5	-	68,1	-
+60...80 (мм)	13,8	-	12,3	-
+80 мм і більше	9,3	-	0,9	-
Забур'яненість ділянки поля:				
- кількість бур'янів на 1 м ² , шт.	13,0	20,0	28,0	26,0
- маса бур'янів, кг	0,15	0,27	0,56	0,5
Довжина залікової ділянки, м	10	10	10	10
Тип машини	причіпна			
Агрегатування	МТЗ-82			
Ширина захвату, м	1,35	1,35	1,35	1,35
Кількість рядків, які викопуються, шт.	3	3	3	3
Діаметр викопувального диска, D_o , м	0,45	0,45	0,45	0,45
Кут атаки диска, α , град.	30,0	30,0	30,0	30,0
Середня глибина ходу диска, a , см	7,7	9,5	7,1	10,8
Кутова швидкість обертання очисного вала, ω_o , рад/с	450; 600; 750	450; 600; 750	300; 400; 500	450; 600; 750
Зовнішній діаметр очисного вала, D_o , м	0,65	0,75	0,65	0,75
Робоча швидкість руху КМ, V_m , м/с	1,4; 1,6; 1,8	1,4; 1,6; 1,8	1,0; 1,2; 1,4	1,0; 1,2; 1,4

до відминальних вальців 10 відбувається відокремлення залишків гички на їх головках методом відминання у силу їх зустрічного напрямку обертання. Крім того, очисні пружні елементи 9 взаємодіють на тіло коренеплодів, очищаючи при цьому їх поверхню від налиплого ґрунту та в силу їх зустрічного обертання відносно руху спіральних витків шнека переміщують рослинні домішки в протилежному напрямку вивантажувальної зони АВТОКРО, тобто в сторону протилежну руху коренеплодів, збільшуючи час знаходження домішок на робочій гільці подавального транспортера.

Очищенні від домішок коренеплоди вивантажувальним транспортером 12 завантажуються у транспортний засіб.

Для експериментального дослідження кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)}$ або напрямку руху коренеплоду, результуючої швидкості руху коренеплоду $V_a^{(e)}$ після його контактної взаємодії з витком шнека АТОКРО, використано розроблену лабораторну установку з застосуванням сферичного маятникового копра, конструктивна схема якої наведена на рис. 4.3, а загальний вигляд – на рис. 4.4.

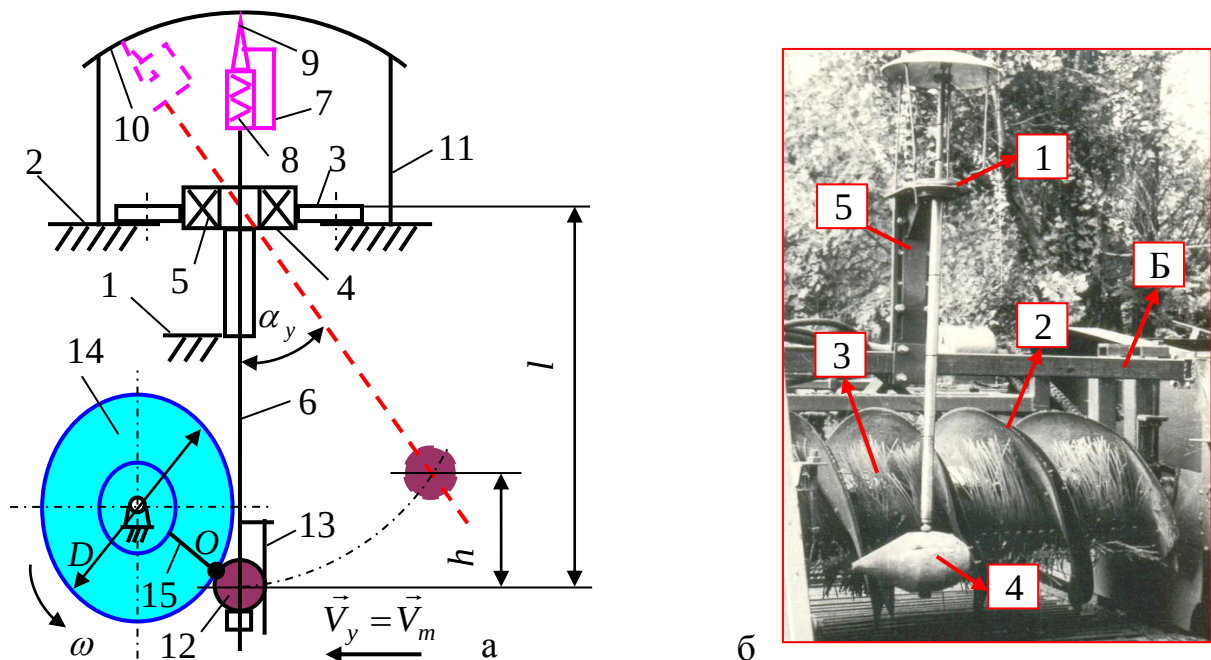


Рис. 4.3. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) лабораторної установки:

- а: 1 – стояк; 2 – пластина; 3 – кронштейн; 4 – корпус; 5 – сферичний підшипник; 6 – вісь маятника; 7 – корпус; 8 – пружина; 9 – олівець; 10 – півкульова поверхня; 11 – стояк; 12 – коренеплід; 13 – екран; 14 – шнек; 15 – виток

Сферичний маятниковий копер призначений для дослідження кінематичних параметрів, які характерні для процесу контактної взаємодії коренеплодів із різними поверхнями співудару на основі фіксації векторного напрямку і значення початкової швидкості контакту $V_{n.k} = V_m$, кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)}$ та результуючої швидкості співудару $V_a^{(e)}$ коренеплоду в процесі його контактної взаємодії із витком шнека.

Сферичний маятниковий копер 1 (рис. 4.3б) за допомогою пластини 5 закріплювали на основній рамі Б трирядної АКМ (рис. 4.2), при цьому його встановлювали на основній рамі Б трирядної АКМ так, щоб коренеплід 4 у стані спокою доторкався до торцевої поверхні витка 2 шнека 3, змонтованого на рамі АКМ. Крім того маятниковий копер встановлювали біля витка шнека таким чином, щоб зразок коренеплоду 4 в стані спокою (вертикальне положення маятника) дотикався до витка шнека в необхідній точці контакту коренеплоду та торцевої частини витка шнека.

Маятниковий копер складається з регульованого стояка 1 (рис. 4.3а) на якому встановлено горизонтальну пластину 2. На верхній частині пластини за допомогою поворотного кронштейна 3 змонтовано опорний корпус 4 з сферичним підшипником 5, який посаджено на вісь маятника 6. На короткий верхній кінець осі маятника закріплено корпус 7, всередині якого встановлено регульовану пружину 8, а за нею олівець – 9. Над верхнім кінцем олівця розташовано півкульову поверхню 10, закріплену на стояках 11, які жорстко зв'язані з стояком. На нижній довший кінець осі маятника закріплено макетний зразок коренеплоду 12, який упирається у поворотний регульований екран 13, який запобігає розвороту коренеплоду під час контакту.

Зміну кута встановлення шнека α_o виконували поворотом кронштейна 3 в вертикальній площині удару коренеплоду відносно стояка 1 на відповідний кут відхилення $\alpha_o^{(e)} = \alpha_o$. Кут відхилення осі маятника $\alpha_o^{(e)}$, або зміна положення коренеплоду відносно вертикальної площини удару регулюється в межах $0 \dots 75^\circ$.

Принцип роботи лабораторної установки наступний.

При відхиленні осі маятника 6 від вертикалі на фіксований кут повороту осі α_k та в момент проходження коренеплодом 12 нижньої точки O , відбувається контактна взаємодія коренеплоду з торцевою поверхнею витка 15 шнека 14, який обертається назустріч руху коренеплоду з кутовою швидкістю ω_o . Після контактної взаємодії з витком шнека коренеплід відхиляється від нього з результируючою швидкістю співудару $V_a^{(e)}$ та рухається в її напрямку до того часу, поки результируюча швидкість не стане $V_a^{(e)} = 0$. При цьому під час початкового відхилення осі маятника 6 та після контакту коренеплоду з витком шнека олівець пише на внутрішній частині півкульової поверхні 10 відповідні лінії – лінію напрямку і довжини вектора початкової швидкості контакту $\vec{V}_m$ та лінію напрямку і довжини вектора результируючої швидкості співудару $\vec{V}_a^{(e)}$ після контакту.

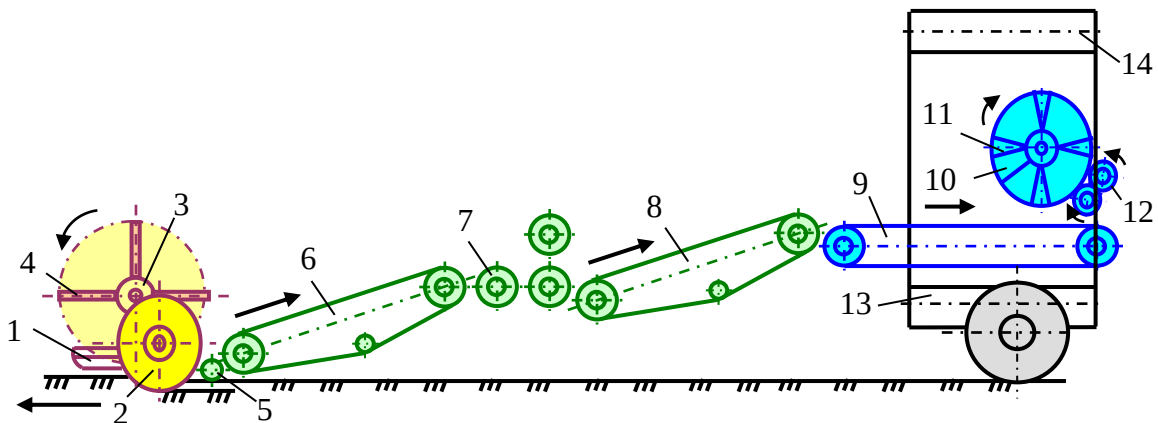


Рис. 4.4 Конструктивна схема вдосконаленої КМ МКК-6: 1 – корененапрямник; 2 – диск; 3 – вал; 4 – лопать; 5 – підбирач; 6, 8, 9, 13, 14 – транспортери; 7 – очисник; 10 – шнек; 11 – очисні елементи; 12 – відминальні вальці



Рис. 4.5. Загальний вигляд удосконаленої коренезбиральної машини МКК-6

Кут між напрямками перпендикуляра, проведеного до кінця вектора початкової швидкості контакту (руху) $\vec{V}_m$ та результуючої швидкості $\vec{V}_a^{(e)}$ є кутом відбивання коренеплодів $\gamma^{(e)}$ після їх контакту з витком шнека [247].

Під час проведення порівняльних досліджень показників якості роботи АКМ і базового зразка КМ було використано удосконалену конструкцію КМ МКК-6, яку розроблено та виготовлено в ННЦ “ІМЕСГ”.

Конструктивну схему удосконаленої МКК-6 наведено на рис. 4.4, а загальний вигляд – на рис. 4.5 [248].

Будова та принцип роботи удосконаленої КМ МКК-6 були ідентичні відповідним положенням будови та принципу роботи АВТОКРО і АТОКРО АКМ (рис. 4.2), а принцип роботи інших робочих органів – аналогічний принципу роботи базових вузлів серійної КМ МКК-6.

Технічну характеристику удосконаленої КМ МКК-6 та умови проведення порівняльних досліджень наведено у додатку Г.1.1.

Моделювання процесів викопування коренеплодів із одночасним відокремлення залишків гички на головках коренеплодів робочими органами АВТОКРО залежать від багатьох факторів: фізико-механічних властивостей гички, сорту коренеплодів, типу їх поверхні, характеру навантажень для руйнування даних зв'язків тощо.

Під час проведення експериментальних досліджень АВТОКРО було реалізовано експеримент типу ПФЕ 3² з використанням стандартної та розробленої часткової методик і виготовленої трирядної лабораторно-польової установки АКМ (рис. 4.2). При цьому визначали зміну загальної секундної подачі $Q_2^{(e)}$ ВК, секундної подачі загальних ґрунтових $Q_{2\rho}^{(e)}$ і рослинних $Q_{2p}^{(e)}$ домішок, секундної подачі коренеплодів $Q_{2k}^{(e)}$ залежно від поступальної швидкості руху V_k АКМ та частоти обертання приводного вала n_k як функціонала $Q_{2i}^{(e)} = f_2(V_k, n_k)$.

Для визначення функціональної залежності коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_A^{(e)}$ АВТОКРО, часткових коефіцієнтів $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$, $K_{1k}^{(e)}$ як функціонала

$K_i^{(e)} = f_2(V_k, n_k)$ додатково визначали зміну загальної секундної подачі $Q_1^{(e)}$ ВК і секундних подач загальних ґрунтових $Q_{1\rho}^{(e)}$ і рослинних $Q_{1p}^{(e)}$ домішок від поступальної швидкості руху V_k АКМ як функціонала $Q_{1i}^{(e)} = f_1(V_k)$.

Для отримання регресійної моделі параметра оптимізації, вибирали відповідний план експерименту, реалізацію якого проводили згідно з стандартною методикою планування багатфакторних експериментів [228, 245].

Рівні варіювання вхідних факторів та їх кодоване позначення під час проведення експериментів типу ПФЕ 3^2 наведено в табл. 4.2

Таблиця 4.2

Характеристика факторів і рівні їх варіювання експериментів типу ПФЕ 3^2

Кодоване позначення фактора	Найменування фактора	Значення рівнів фактора
x_1	Швидкість руху копача, V_k , м/с	1,4-1,6-1,8
x_2	Частота обертання приводного вала, n_o , об/хв	450-600-750

Оскільки при проведенні експериментів змінні незалежні фактори V_k і n_o 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 значень до кодованих.

Зв'язок між кодованими x_i та натуральними V_k і n_o змінними факторами, нульовий рівень, або середнє значення кожного вхідного фактора, інтервали варіювання факторами встановлювали згідно з положеннями [245].

Після кодування вхідних факторів складали план-матрицю експерименту типу ПФЕ 3^2 , яку наведено у табл. 4.3.

При реалізації складеної план-матриці, для усунення впливу неконтрольованих (НКФ) і нерегульованих (НРФ) факторів (рис. 4.1) на значення параметра оптимізації, провели її рандомізацію шляхом застосування методу випадкового балансу, який реалізовано способом застосування таблиці випадкових чисел [245].

План-матриця експерименту типу ПФЕ 3²

№ експ.	Позначення фактора				Параметр оптимізації, Y			
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	1	2	3	Y_c
1, 10, 19	+1	+1 (1,8)	+1 (750)	+1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1c}
2, 11, 20	+1	-1 (1,4)	+1	-1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{2c}
3, 12, 21	+1	0 (1,6)	+1	0	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{3c}
4, 13, 22	+1	+1	-1 (450)	-1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{4c}
5, 14, 23	+1	-1	-1	+1	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{5c}
6, 15, 24	+1	0	-1	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}
7, 16, 25	+1	+1	0 (600)	0	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{7c}
8, 17, 26	+1	-1	0	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{8c}
9, 18, 27	+1	0	0	0	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{9c}

Рандомізована план-матриця експерименту типу ПФЕ 3² наведена у додатку Г. 2.1.

Нелінійний характер очікуваної функції відгуку Y в області факторного простору подано у вигляді рівняння регресії полінома другої степені

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

Коефіцієнти рівняння регресії визначали згідно з [245] за формулами

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0_u}; \quad b_i = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} y_j; \quad b_{ij} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} x_{lj} y_j; \quad (4.2)$$

$$b_{ii} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{48} \sum_{i=1}^{K_n} \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{6} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0_u}, \quad (4.3)$$

де n_0 – кількість експериментів;

u – номер паралельного експерименту;

y_{0_u} – значення функції відгуку в U -му експерименті;

N_i – кількість експериментів в план-матриці експерименту;

j – номер дослідів в план-матриці експерименту;

i, l – номери факторів;

x_{ij}, x_{lj} – значення i - та l - факторів в j -му експерименті;

y_j – значення функції відгуку в j -го експерименту;

K_n – кількість факторів.

Дисперсію відтворення експерименту та дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії, оцінку статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірку адекватності моделі реальному експериментальному масиву даних проводили за критеріями Фішера та Ст'юдента та визначали згідно з положеннями [245], при цьому: дисперсію відтворення кожного експерименту визначаємо за формулою

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{N_i} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2 / (n_0 - 1) = S_E / (n_0 - 1), \text{ де } \bar{y}_0 - \text{середнє значення функції відгуку}$$

отримане за результатами n_0 дослідів; дисперсії коефіцієнтів регресії визначали

$$\text{за формулами } S_{b_0}^2 = \frac{1}{3} S_y^2; \quad S_{b_i}^2 = \frac{1}{12} S_y^2; \quad S_{b_{il}}^2 = \frac{1}{4} S_y^2; \quad S_{b_{ii}}^2 = \frac{3}{16} S_y^2; \text{ адекватність}$$

отриманої моделі перевіряли за допомогою F_p - критерію Фішера $F_p = S_{ad}^2 / S_y^2$;

дисперсія адекватності визначали за формулою $S_{ad}^2 = (S_R - S_E) / f_R$, де f_R –

число ступенів вільності; S_R – залишкова сума квадратів, а $S_R = \sum_{u=1}^{N_i} (y_u - \hat{y}_u^2)$, де

y_u – дійсне значення величини в u -му досліді; $\hat{y}_u$ – значення, що отримане з рівняння регресії.

Отримане значення F_p порівнювали з табличним F_T . Якщо умова $F_p < F_T(0,05, f_{ag}, f_y)$, виконувалась, тобто розрахункове значення F_p - критерію Фішера менше табличного F_T при 5 % - му рівні значущості, числі степені вільності дисперсії адекватності $f_{ag} = N - g$ та числі степені вільності дисперсії відтворюваності $f_y = N(n - 1)$, то рівняння регресії ПФЕ адекватно експериментальним даним.

Довірливі інтервали коефіцієнтів регресії знаходимо, використовуючи табличне значення критерію Ст'юдента за числа степенів вільності $n_0 - 1$ в центрі плану та прийнятого рівня значимості 0,05.

$$\Delta b_0 = \pm t \cdot S_{b_0}; \quad \Delta b_i = \pm t \cdot S_{b_i}; \quad \Delta b_{il} = \pm t \cdot S_{b_{il}}; \quad \Delta b_{ii} = \pm t \cdot S_{b_{ii}}. \quad (3.13)$$

Якщо умова значимості не виконується, тобто коефіцієнт рівняння регресії виявиться меншим довірчого інтервалу, тоді такий коефіцієнт b_i рівняння регресії приймали рівним нулю, а відповідний член x_i рівняння регресії виключали [245].

Урожайність поля коренеплодів та залікової ділянки довжиною 10 м і шириною 1,35 м (три рядки посівів коренеплодів) визначали за загальновідомою методикою згідно з [228].

Основний масив гички на головках коренеплодів зрізували гичкозбиральною машиною МБК-2,7.

Характеристика культури та умови проведення експериментальних досліджень наведено у табл. 4.1.

Обробку викопаного ВК АВТОКРО і серійним копачем після кожного суміжного проходу залікової ділянки, тобто викопування ВК на відповідних і встановлених режимах роботи АКМ згідно встановленої рандомізованої план-матриці експерименту (при цьому проміжний блок ТТС 2 (рис. 2.25) підіймали на основній рамі машини вгору, а викопаний дисками ВК надходив на полотно), проводили згідно з стандартною методикою [228].

Секундні подачі $Q_{1i}^{(e)}$ та $Q_{2i}^{(e)}$ визначали за формулою [249].

$$Q_{1i}^{(e)} \cong Q_{2i}^{(e)} = M_i^{(e)} V_k / S_k. \quad (4.4)$$

Коефіцієнти $K_A^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{1k}^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$ визначали як відношення відповідних складових значень секундних подач, тобто [250, 251].

$$K_i^{(e)} = Q_{2i}^{(e)} / Q_{1i}^{(e)}. \quad (4.5)$$

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакету прикладних статистичних програм обробки та аналізу результатів досліджень будували поверхні відгуку параметрів оптимізації та двомірний переріз поверхонь відгуку для наочного зображення результатів проведених експериментів.

Для отримання рівняння регресії, яке характеризує зміну кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)}$ після його контактної взаємодії з витком шнека і коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_{II}^{(e)}$ АТОКРО, вибирали відповідний план трифакторного експерименту, при цьому незалежними змінними факторами приймали: діаметр шнека D , який кодували індексом x_1 ; кутову швидкість шнека ω_o , яку кодували індексом x_2 ; кут встановлення шнека α_o , який кодували індексом x_3 .

Результати кодування змінних факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіов.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Натур.	Код.				
Діаметр шнека, D , м	x_1	X_2	0,2	0,4/-1	0,6/0	0,8/+1
Кутова швидкість шнека, ω_o , рад/с	x_2	X_1	4	7/-1	11/0	15/+1
Кут встановлення шнека, α_o , град	x_3	X_3	25	40/-1	65/0	90/+1

Макетний зразок коренеплоду 12 (рис. 4.3а) закріплювали на вісь маятника 6 сферичного копра, після чого відхиляли вісь на кут $\alpha_k = 35^\circ$. При цьому швидкість руху коренеплоду 12 в момент його контакту з витком 15 шнека 14 дорівнювала $V_{n,k} = V_m = 1,6$ м/с, яку визначали за формулою [199]

$$V_m = \text{const} = 2 \sin(0,5\alpha_k) \sqrt{gl_M}, \quad (4.6)$$

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

$l_M = 0,74$ м – відстань від осі обертання маятника до центра удару.

При відхиленні осі маятника на фіксований кут α_k (рис. 4.6) олівець пише на внутрішній частині півкульової поверхні вектор швидкості співудару $V_{n,k} = V_m$ в момент контакту коренеплоду з витком шнека, або лінію відповідної довжини s_m , яка чисельно відповідає значенню початкової швидкості співудару

коренеплоду з витком шнека $V_m = 1,6$ м/с, а після співудару – лінію або вектор $\vec{V}_a^{(e)}$ довжиною c_a , яка чисельно відповідає значенню результуючої швидкості співудару $V_a^{(e)}$ після контакту коренеплоду з витком шнека. Дані лінії переносили з внутрішньої частини півкульової поверхні на копіювальний папір і вимірювали їх довжини.

Визначали масштаб M_{V_m} вектора швидкості $\vec{V}_m$ за формулою [247]

$$M_{V_m} = V_m / b_m = 1,6 / c_m. \quad (4.7)$$

Кут відбивання коренеплодів $\gamma^{(e)}$ визначали між напрямками вектора $\vec{V}_a^{(e)}$ і вектора $\vec{V}_{oc}$, який паралельний осі обертання шнека $O'O'$.

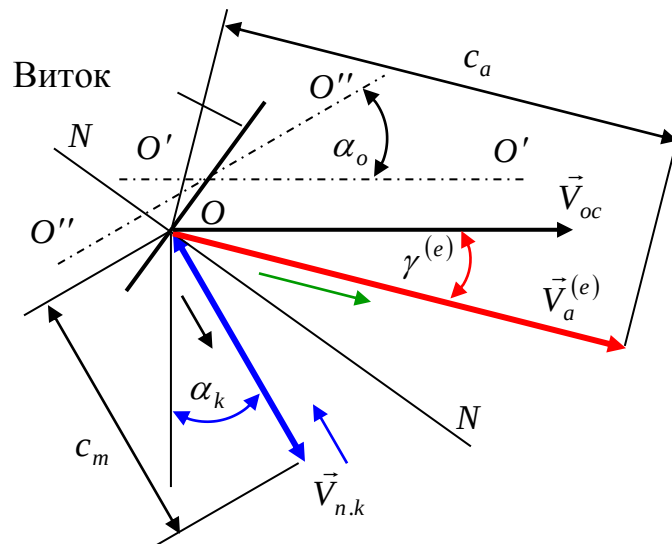


Рис. 4.6. Векторна схема руху олівця по півкульовій поверхні, перенесена на копіювальний папір

Числове значення результуючої швидкості співудару коренеплоду $V_a^{(e)}$ з витком шнека визначали за формулою

$$V_a^{(e)} = c_a M_{V_m}. \quad (4.8)$$

Коефіцієнт динамічного ефекту роботи $K_{II}^{(e)}$ АТОКРО визначали за формулою

$$K_{II}^{(e)} = V_a^{(e)} / [V_{kp}], \quad (4.9)$$

при цьому допустима критична швидкість $[V_{кр}] = 3,1$ м/с.

Реалізація експерименту типу ПФЕ 3³ була аналогічна порядку проведення експериментальних досліджень секундних подач ВК АКМ.

Вихідними даними для проведення аналізу одержаних результатів порівняльних досліджень показників якості роботи удосконаленої (рис. 4.5) та базової КМ МКК-6 були агротехнічні вимоги до коренезбиральних машин [228, 229].

Як базову машину було взято вдосконалену, але переобладнану КМ МКК-6 – блоки приводного вала 3 (рис. 4.4) і шнека 10 було відключено та піднято вгору, а подавальний транспортер 9 укорочено так, щоб ВК, який транспортується ним, надходив безпосередньо в перехідний бункер КМ, або на поперечний транспортер 13 і далі на вивантажувальний транспортер 14.

Умови проведення порівняльних випробувань, які під час проведення експериментів були однаковими для обох КМ, технічна характеристика удосконаленої КМ МКК-6, характеристика культури та плантації коренеплодів, наведено у додатку Г.1.1.

Порядок проведення, відбір проб і обробку результатів експериментальних даних порівняльних досліджень провели за загальновідомою методикою згідно з положеннями [228, 229].

4.2. Результати проведення експериментальних досліджень адаптованого викопувального транспортно-очисного комбінованого робочого органу

Згідно з проведенням аналізом технологічного процесу викопування ВК було встановлено, що ефективність технологічного процесу роботи АВТОКРО (рис. 4.7) характеризується ступенем зменшення зміни загальної подачі Q_1 ВК і складових компонентів ВК – загальних ґрунтових Q_{1p} і рослинних Q_{1p} домішок за проміжок часу, яке відбувається у процесі викопування ВК диском 2 і одночасної взаємодії на компоненти ВК пружних лопатей 3 приводного вала 4 АВТОКРО.

Ступінь зменшення зміни подач ВК виразили як відношення зміни мас домішок, або зміни подач домішок ВК, які подаються на наступні ТТС АКМ АВТОКРО і сферичним диском, яке позначили відповідними коефіцієнтами динамічного ефекту роботи K_A , АВТОКРО та частковими коефіцієнтами $K_{2\rho}$, K_{2p} , які характеризують, відповідно, ступінь зменшення загальної подачі ґрунтових і рослинних домішок.

Для визначення експериментальних значень коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_A^{(e)}$ АВТОКРО та часткових коефіцієнтів $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$, які враховують, відповідно, ступінь зміни зниження загальної подачі ВК і складових компонентів ВК – загальних ґрунтових і рослинних домішок за проміжок часу, який викопується АВТОКРО і сферичним диском та встановлення закономірностей зміни $K_A^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$, а також коефіцієнта втрат коренеплодів $K_{1k}^{(e)}$ залежно від швидкості руху V_k АКМ та частоти обертання приводного вала n_k провели порівняльні експериментальні дослідження лабораторно-польової установки, або трирядної АКМ (рис. 4.2) згідно програми та методики, яку викладено у розділі 4.1.

Вологість і щільність ґрунту в відповідному шарі дослідної ділянки поля (фону) визначали за загальновідомою методикою [228, 229].

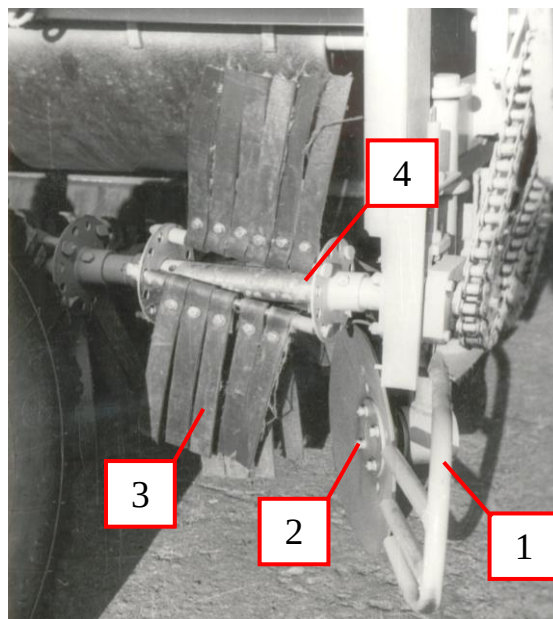


Рис. 4.7. Загальний вигляд АВТОКРО: 1 – корененапрямник;
2 – сферичний диск; 3 – приводний вал; 4 – пружна лопать

Порівняльні експериментальні дослідження були реалізовані шляхом постановки та проведення серії класичних однофакторних експериментів і експерименту типу ПФЕ 3². Під час проведення однофакторних експериментів приводний вал 3 (рис. 2.23, 4.7) АВТОКРО, демонтували з рами лабораторно-польової установки (рис. 4.2, 4.3).

Значення коефіцієнтів $K_A^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$, а також коефіцієнта втрат коренеплодів $K_{1k}^{(e)}$ було визначено на основі порівняння одержаних експериментальних даних секундної подачі $Q_{1i}^{(e)}$ ВК однофакторних експериментів (табл. 4.5 і додаток Г.2.2) та секундної подачі $Q_{2i}^{(e)}$ ВК багатфакторних експериментів типу ПФЕ 3² (табл. 4.6), при цьому відповідні значення секундних подач ВК і коефіцієнтів визначали за формулами (4.4, 4.5).

Загальну секундну подачу $Q_{1(2)}^{(e)}$ викопаного ВК і загальних секундних подач складових компонентів – ґрунтових $Q_{1(2)\rho}^{(e)}$ і рослинних $Q_{1(2)p}^{(e)}$ домішок визначали наступним чином.

Викопаний ВК кожної проби (кожного експерименту) розбирали на окремі складові компоненти – вільні домішки і коренеплоди. Потім вільні домішки також поділяли на окремі складові групи компонента загальних вільних домішок – вільний ґрунт та вільні рослинні домішки, які зважували на вазі з точністю, відповідно до 0,1 кг і 0,01 кг. Далі з поверхні тіла коренеплодів вручну очищували налиплий ґрунт і зрізували залишки гички з головок коренеплодів згідно з встановленими вимогами діючих положень [228, 229]. Очищений з коренеплодів ґрунт і відокремлені залишки гички зважували на вазі з точністю 0,01 кг. Одержані дані маси $M_{1(2)i}^{(e)}$ складових компонентів ВК заносили у відповідні строки таблиці результатів експериментальних досліджень. Загальну масу домішок $M_{1(2)}^{(e)}$ викопаного вороху коренеплодів визначали як арифметичну суму всіх складових компонентів ВК, тобто $M_{1(2)}^{(e)} = \sum_{i=1}^n M_{1(2)i}^{(e)}$, де $n = 3$, тобто коренеплодів, ґрунтових і рослинних домішок.

Таблиця 4.5

Результати лабораторно-польових досліджень АВТОКРО без очисного вала
при проведенні однофакторних експериментів (КБ)

Показники якості роботи КМ	$V_m = 1,4$ м/с				$V_m = 1,6$ м/с				$V_m = 1,8$ м/с			
	1	2	3	Середнє.	1	2	3	Середнє	1	2	3	Середнє
*Загальна маса вороху коренеплодів, M_1 , кг	140,6	149,8	153,5	148,0/20,7	135,9	156,3	144,6	145,6/23,3	145,3	136,2	130,4	137,3/24,7
*Маса чистих коренеплодів, M_{1k} , кг	55,9	58,7	46,2	53,3/7,5	47,6	61,2	53,8	52,4/8,4	48,1	51,8	53,7	51,2/9,2
*Маса домішок, M_{10} , кг	84,7	91,1	107,3	94,4/13,2	88,3	95,1	90,8	91,4/14,6	97,2	84,4	76,7	86,1/15,5
*Загальна маса ґрунто- вих домішок, $M_{1\rho\partial}$, кг	76,0	83,2	97,0	85,4/12,0	81,6	87,5	82,1	83,7/13,4	88,5	76,3	67,5	77,4/13,9
*Маса вільного ґрунту, $M_{1\rho}$, кг	74,4	82,1	95,3	83,9/11,8	79,8	86,0	80,2	82,0/13,1	86,6	75,1	66,4	76,0/13,7
*Маса налиплого ґрунту, m_{1cp} , кг	1,4	1,1	1,7	1,4/0,2	0,8	1,5	0,9	1,1/0,2	0,9	1,2	1,1	1,1/0,2
*Маса рослинних домішок, M_{1p} , кг	6,7	7,6	8,7	7,7/1,2	8,7	7,9	10,3	9,0/1,3	8,7	8,1	9,2	8,7/1,6
*Маса бур'янів, M_{16} , кг	2,8	2,6	3,9	3,1/0,5	3,1	3,4	4,0	3,5/0,6	3,9	4,2	3,6	3,9/0,7
*Маса залишків гички на головках, $M_{13.2}$, кг	3,6	4,2	4,7	4,5/0,7	5,9	5,3	6,4	5,9/0,8	4,8	3,9	5,6	4,8/0,9
Втрати коренеплодів, B_{1k} , %	0,9	0,8	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,1	1,3	1,1	1,2	1,2
Пошкодження корене- плодів, $П_{1k}$, %	7,8	5,7	5,7	6,4	6,1	5,9	6,0	6,0	5,9	6,5	6,3	6,2

* - у чисельнику наведено середнє значення показника, а в знаменнику – його середнє значення секундної подачі

Результати лабораторно-польових досліджень АВТКРО без очисного вала
при проведенні однофакторних експериментів (ЦБ)

Показники якості роботи КМ	$V_m = 1,4$ м/с				$V_m = 1,6$ м/с				$V_m = 1,8$ м/с			
	1	2	3	Середнє.	1	2	3	Середнє	1	2	3	Середнє
*Загальна маса вороху коренеплодів, M_1 , кг	195,4	189,6	203,8	196,3/27,5	199,9	189,7	211,5	200,4/32,1	209,4	195,1	203,7	202,7/36,5
*Маса чистих коренеплодів, M_{1k} , кг	28,3	31,8	23,5	27,9/3,9	23,7	30,5	26,9	27,0/4,3	24,1	27,3	25,6	25,7/4,6
*Маса домішок, M_{10} , кг	167,1	157,8	180,3	168,4/23,6	176,2	159,2	184,6	173,3/27,7	185,3	167,8	178,1	177,1/31,9
*Загальна маса ґрунту, $M_{1\rho\delta}$, кг	163,2	153,7	177,3	164,7/23,1	171,9	155,6	179,9	169,1/27,1	180,5	163,5	173,0	172,2/31,0
*Маса вільного ґрунту, $M_{1\rho}$, кг	161,4	152,2	175,0	162,9/22,8	170,4	153,5	178,0	167,3/26,8	178,6	161,3	170,9	171,0/30,8
*Маса налиплого ґрунту, m_{1cp} , кг	1,8	1,5	2,3	1,9/0,3	1,5	2,1	1,9	1,8/0,3	1,9	2,2	2,1	2,1/0,4
*Маса рослинних домішок, M_{1p} , кг	3,9	4,1	3,0	3,7/0,5	4,3	3,6	4,7	4,2/0,7	4,8	4,3	5,1	4,7/0,8
*Маса бур'янів, M_{16} , кг	2,6	2,8	2,1	2,5/0,3	3,1	2,8	3,3	3,1/0,5	2,7	3,2	2,6	2,8/0,5
*Маса залишків гички на головках, $M_{13.2}$, кг	1,1	1,3	0,9	1,1/0,2	1,2	0,8	1,4	1,1/0,2	2,1	1,1	2,5	1,9/0,3
Втрати коренеплодів, B_{1k} , %	1,0	0,9	1,0	1,0	1,1	1,4	1,2	1,2	1,3	1,2	1,4	1,3
Пошкодження корене- плодів, Π_{1k} , %	8,1	6,5	7,3	7,3	7,1	7,0	6,6	6,9	6,7	7,2	7,6	7,2

* - у чисельнику наведено середнє значення показника, а в знаменнику – його середнє значення секундної подачі

Таблиця 4.6

Результати лабораторно-польових досліджень АВТКРО при проведенні ПФЕ 3² (КБ)

№ експер.	Фактори				Показники якості роботи АВТКРО									
					M_2 , кг				Серед. подача, кг/с	M_{2k} , кг / %				Серед. подача, кг/с
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	1	2	3	Серед.		1	2	3	*Серед.	
1,10,19	+1	0	0	0	128,2	133,2	138,9	133,4	18,9	57,8	51,7	63,1	57,5/43,1	9,2
2,11,20	+1	+1	0	0	125,3	112,5	137,9	125,2	20,1	47,1	51,1	49,6	49,3/39,7	8,9
3,12,21	+1	-1	0	0	120,5	131,3	113,8	121,9	17,1	53,7	48,9	56,5	53,0/44,0	7,4
4,13,22	+1	0	+1	0	115,9	129,1	132,4	125,8	18,1	49,9	48,3	57,4	51,9/41,3	8,3
5,14,23	+1	+1	+1	+1	130,1	124,6	133,5	129,4	19,6	50,3	59,7	55,4	55,1/42,7	9,9
6,15,24	+1	-1	+1	-1	115,6	124,3	128,7	122,9	16,7	56,4	60,5	52,7	56,5/46,1	7,9
7,16,25	+1	0	-1	0	126,4	120,4	117,5	121,4	19,4	53,4	56,9	52,7	54,3/44,8	8,7
8,17,26	+1	+1	-1	-1	134,9	124,9	121,6	127,1	20,8	49,8	53,2	51,9	51,6/40,7	9,2
9,18,27	+1	-1	-1	+1	123,5	128,5	121,9	124,6	17,4	57,1	55,3	61,4	57,9/46,5	8,1

* - у чисельнику наведено значення показника в (кг), а в знаменнику – його значення в (%) відносно загальної маси вороху

Результати лабораторно-польових досліджень АВТКРО при проведенні ПФЕ 3² (КБ)

№ експер.	Фактори				Значення показників якості роботи АВТКРО									
					$M_{2\partial}$, кг / %				Серед. подача, кг/с	$M_{2\rho\partial}$, кг / %				Серед. подача, кг/с
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	1	2	3	*Середнє значення		1	2	3	**Серед.	
1,10,19	+1	0	0	0	70,4	81,5	75,85	$\frac{75,9/56,9}{134,4}$	10,4	66,17	76,42	71,09	$\frac{71,41}{124,2}$	9,53
2,11,20	+1	+1	0	0	78,2	61,4	88,3	$\frac{76,0/60,3}{154,7}$	13,3	73,69	56,27	82,82	$\frac{71,92}{186,5}$	12,05
3,12,21	+1	-1	0	0	66,8	82,4	57,3	$\frac{68,8/56,0}{131,4}$	8,9	62,41	78,21	52,51	$\frac{64,31}{121,3}$	8,12
4,13,22	+1	0	+1	0	66,0	80,8	75,0	$\frac{73,9/58,7}{143,4}$	9,9	60,79	76,99	70,22	$\frac{69,3}{133,5}$	9,09
5,14,23	+1	+1	+1	+1	79,8	64,9	73,3	$\frac{74,3/57,3}{134,9}$	12,9	74,68	58,56	67,53	$\frac{68,56}{124,4}$	11,34
6,15,24	+1	-1	+1	-1	59,2	63,8	76,0	$\frac{66,4/53,9}{117,5}$	8,6	56,21	59,21	72,32	$\frac{62,68}{110,9}$	7,77
7,16,25	+1	0	-1	0	73,0	63,5	64,8	$\frac{67,1/55,2}{123,6}$	10,7	68,6	58,48	59,03	$\frac{62,07}{114,3}$	9,93
8,17,26	+1	+1	-1	-1	85,1	71,7	69,7	$\frac{75,5/59,3}{146,3}$	13,6	78,98	66,22	62,93	$\frac{69,41}{134,5}$	12,49
9,18,27	+1	-1	-1	+1	66,4	73,2	60,5	$\frac{66,7/53,5}{115,2}$	9,3	59,79	68,06	54,63	$\frac{60,86}{105,1}$	8,52

* - у чисельнику - значення в (кг) / і (%), які визначено відносно загальної маси вороху, а в знаменнику - значення показника в (%), яке визначено відносно маси коренеплодів згідно діючої методики;

** - у чисельнику - значення в (кг), а в знаменнику – в (%), які визначено відносно маси коренеплодів

Результати лабораторно-польових досліджень АВТКРО при проведенні ПФЕ 3² (КБ)

№ експер.	Фактори				Значення показників якості роботи АВТКРО									
					$M_{2\rho}$, кг / %					$m_{2\rho}$, кг / %				
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	1	2	3	*Середнє значення	Серед. подача	1	2	3	*Середнє значення	Серед. подача
1,10,19	+1	0	0	0	65,82	75,92	70,64	$\frac{70,98}{123,4}$	9,51	0,35	0,5	0,45	$\frac{0,43}{0,8}$	0,07
2,11,20	+1	+1	0	0	73,21	55,75	82,26	$\frac{71,4}{144,8}$	11,95	0,48	0,52	0,56	$\frac{0,52}{1,0}$	0,09
3,12,21	+1	-1	0	0	62,11	77,74	52,11	$\frac{63,92}{120,6}$	8,05	0,31	0,47	0,39	$\frac{0,39}{0,7}$	0,05
4,13,22	+1	0	+1	0	60,44	76,6	69,85	$\frac{68,93}{132,8}$	9,03	0,35	0,39	0,37	$\frac{0,37}{0,7}$	0,06
5,14,23	+1	+1	+1	+1	74,24	58,05	67,0	$\frac{68,07}{123,5}$	11,35	0,44	0,51	0,53	$\frac{0,49}{0,9}$	0,09
6,15,24	+1	-1	+1	-1	55,91	58,84	71,98	$\frac{62,34}{110,3}$	7,73	0,31	0,37	0,34	$\frac{0,34}{0,6}$	0,05
7,16,25	+1	0	-1	0	68,17	57,96	58,57	$\frac{61,6}{113,4}$	9,89	0,43	0,52	0,46	$\frac{0,47}{0,9}$	0,08
8,17,26	+1	+1	-1	-1	78,36	65,63	62,32	$\frac{68,8}{133,3}$	12,38	0,62	0,59	0,61	$\frac{0,61}{1,2}$	0,11
9,18,27	+1	-1	-1	+1	59,27	67,52	54,07	$\frac{60,32}{104,2}$	8,44	0,52	0,54	0,56	$\frac{0,54}{0,9}$	0,08

* - у чисельнику - значення в (кг), а в знаменнику – в (%), які визначено відносно маси коренеплодів згідно діючої методики

Результати лабораторно-польових досліджень АВТКРО при проведенні ПФЕ 3² (КБ)

№ експер.	Фактори				Значення показників якості роботи АВТКРО									
					M_{2p} , кг / %					$M_{2\sigma}$, кг / %				
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	1	2	3	*Середнє значення	Серед. подача	1	2	3	*Середнє значення	Серед. подача
1,10,19	+1	0	0	0	4,23	5,08	4,76	$\frac{4,49}{7,8}$	0,72	3,05	3,93	3,61	$\frac{3,33}{6,2}$	0,53
2,11,20	+1	+1	0	0	4,51	5,13	5,48	$\frac{5,08}{10,3}$	0,91	3,30	3,82	4,21	$\frac{3,81}{7,6}$	0,69
3,12,21	+1	-1	0	0	4,39	4,19	4,79	$\frac{4,49}{8,5}$	0,63	3,62	3,51	3,73	$\frac{3,62}{6,9}$	0,51
4,13,22	+1	0	+1	0	5,21	3,81	4,78	$\frac{4,6}{8,9}$	0,74	4,15	2,93	3,84	$\frac{3,64}{6,9}$	0,58
5,14,23	+1	+1	+1	+1	5,12	6,34	5,77	$\frac{5,74}{10,4}$	1,03	3,96	5,23	4,56	$\frac{4,55}{8,2}$	0,68
6,15,24	+1	-1	+1	-1	2,99	4,59	3,68	$\frac{3,72}{6,6}$	0,52	2,77	4,36	3,38	$\frac{3,47}{6,0}$	0,49
7,16,25	+1	0	-1	0	4,40	5,02	5,77	$\frac{5,03}{9,3}$	0,80	3,14	3,82	4,60	$\frac{3,82}{7,0}$	0,61
8,17,26	+1	+1	-1	-1	6,12	5,48	6,77	$\frac{6,09}{11,8}$	1,1	3,66	2,96	4,16	$\frac{3,56}{6,8}$	0,64
9,18,27	+1	-1	-1	+1	6,61	5,14	5,87	$\frac{5,84}{10,1}$	0,82	5,40	4,21	4,62	$\frac{4,71}{7,1}$	0,66

* - у чисельнику - значення в (кг), а в знаменнику – в (%), які визначено відносно маси коренеплодів згідно діючої методики

Результати лабораторно-польових досліджень АВТКРО при проведенні ПФЕ 3² (КБ)

№ експер.	Фактори				Значення показників якості роботи АВТКРО												
					$M_{23,2}$, кг / %					B_{2k} , %				Π_{2k} , %			
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	1	2	3	*Серед- не	Серед. подача	1	2	3	Сер.	1	2	3	Сер.
1,10,19	+1	0	0	0	1,18	1,15	1,15	$\frac{1,16}{2,0}$	0,19	1,0	1,1	0,9	1,0	6,5	6,3	6,4	6,4
2,11,20	+1	+1	0	0	1,21	1,31	1,27	$\frac{1,27}{2,6}$	0,23	1,2	1,3	1,1	1,3	7,0	7,5	8,0	7,5
3,12,21	+1	-1	0	0	0,87	0,68	1,06	$\frac{0,87}{1,6}$	0,12	0,8	0,8	0,8	0,8	8,5	6,8	7,7	7,7
4,13,22	+1	0	+1	0	1,06	0,88	0,94	$\frac{0,96}{1,9}$	0,15	0,9	0,9	1,0	0,9	6,8	6,6	6,6	6,7
5,14,23	+1	+1	+1	+1	1,16	1,21	1,21	$\frac{1,19}{2,2}$	0,22	1,0	1,1	1,0	1,0	6,7	6,3	6,5	6,2
6,15,24	+1	-1	+1	-1	0,42	0,43	0,5	$\frac{0,45}{0,76}$	0,07	0,9	0,9	0,8	0,9	6,5	6,2	6,4	6,4
7,16,25	+1	0	-1	0	1,26	1,2	1,17	$\frac{1,21}{2,2}$	0,19	1,2	1,1	1,1	1,1	6,1	5,9	5,8	5,9
8,17,26	+1	+1	-1	-1	2,46	2,52	2,61	$\frac{2,53}{4,9}$	0,46	1,3	1,3	1,2	1,3	5,7	5,6	5,5	5,6
9,18,27	+1	-1	-1	+1	1,21	0,93	1,25	$\frac{1,13}{2,0}$	0,16	0,9	0,9	0,9	0,9	5,8	5,7	5,7	5,7

* - у чисельнику - значення в (кг), а в знаменнику – в (%), які визначено відносно маси коренеплодів згідно діючої методики

Після проведення експериментальних досліджень викопування ВК і обробки результатів однофакторного експерименту було одержано числові значення загальної секундної подачі $Q_1^{(e)}$ ВК і складових компонентів ВК – загальної секундної подачі ґрунтових $Q_{1\rho}^{(e)}$ і рослинних $Q_{1p}^{(e)}$ домішок та секундної подачі коренеплодів $Q_{1k}^{(e)}$ (додаток Г.2.2) під час викопування ВК сферичним диском, а відповідні числові значення $Q_2^{(e)}$, $Q_{2\rho}^{(e)}$, $Q_{2p}^{(e)}$ – після обробки експерименту типу ПФЕ 3².

Одержані результати порівняльних досліджень наведено у табл. 4.5, 4.6.

За результатами обробки експериментальних даних (табл. 4.5, 4.6) одержано рівняння регресії в натуральних величинах, які характеризують зміну коефіцієнта динамічного ефекту роботи АВТОКРО $K_A^{(e)}$, часткових коефіцієнтів $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$, що враховують ступінь зниження подачі ґрунтових і рослинних домішок та коефіцієнта втрат коренеплодів $K_{1k}^{(e)}$ залежно від швидкості руху АКМ і частоти обертання приводного вала [246].

$$\left. \begin{aligned} K_A^{(e)} &= 0,09 + 0,91V_k + 0,1 \cdot 10^{-3}n_k + 0,2 \cdot 10^{-2}V_k n_k - 0,63V_k^2 - 2,22 \cdot 10^{-6}n_k^2; \\ K_{2\rho}^{(e)} &= 4,01 - 4,4V_k - 0,3 \cdot 10^{-3}n_k + 8,33V_k n_k + 1,5V_k^2; \\ K_{2p}^{(e)} &= 3,68 - 1,96V_k - 0,6 \cdot 10^{-2}n_k + 0,2 \cdot 10^{-2}V_k n_k + 0,38V_k^2 + 0,96 \cdot 10^{-6}n_k^2; \\ K_{1k}^{(e)} &= 1,78 + 0,08V_k + 0,3 \cdot 10^{-2}n_k + 0,8 \cdot 10^{-3}V_k n_k + 0,38V_k^2 + 0,2 \cdot 10^{-5}n_k^3 \end{aligned} \right\}. \quad (4.10)$$

Встановлено, що коефіцієнт динамічного ефекту роботи $K_A^{(e)}$ АВТОКРО перебуває в межах $0,72 \leq K_A^{(e)} \leq 0,94$ (рис. 4.8а, 4.9а), а мінімальне значення коефіцієнта динамічного ефекту роботи АВТОКРО, тобто максимальна технологічна ефективність процесу інтенсифікації відокремлення домішок від викопаного ВК досягається за частоти обертання приводного вала $n_k \geq 600$ об/хв і швидкості руху АКМ $V_k \geq 1,6$ м/с, тобто після динамічної стабілізації процесу одночасного викопування ВК диском і взаємодії на компоненти ВК лопатей приводного вала, або стабілізації надходження викопаного ВК на наступні ТТС АКМ.

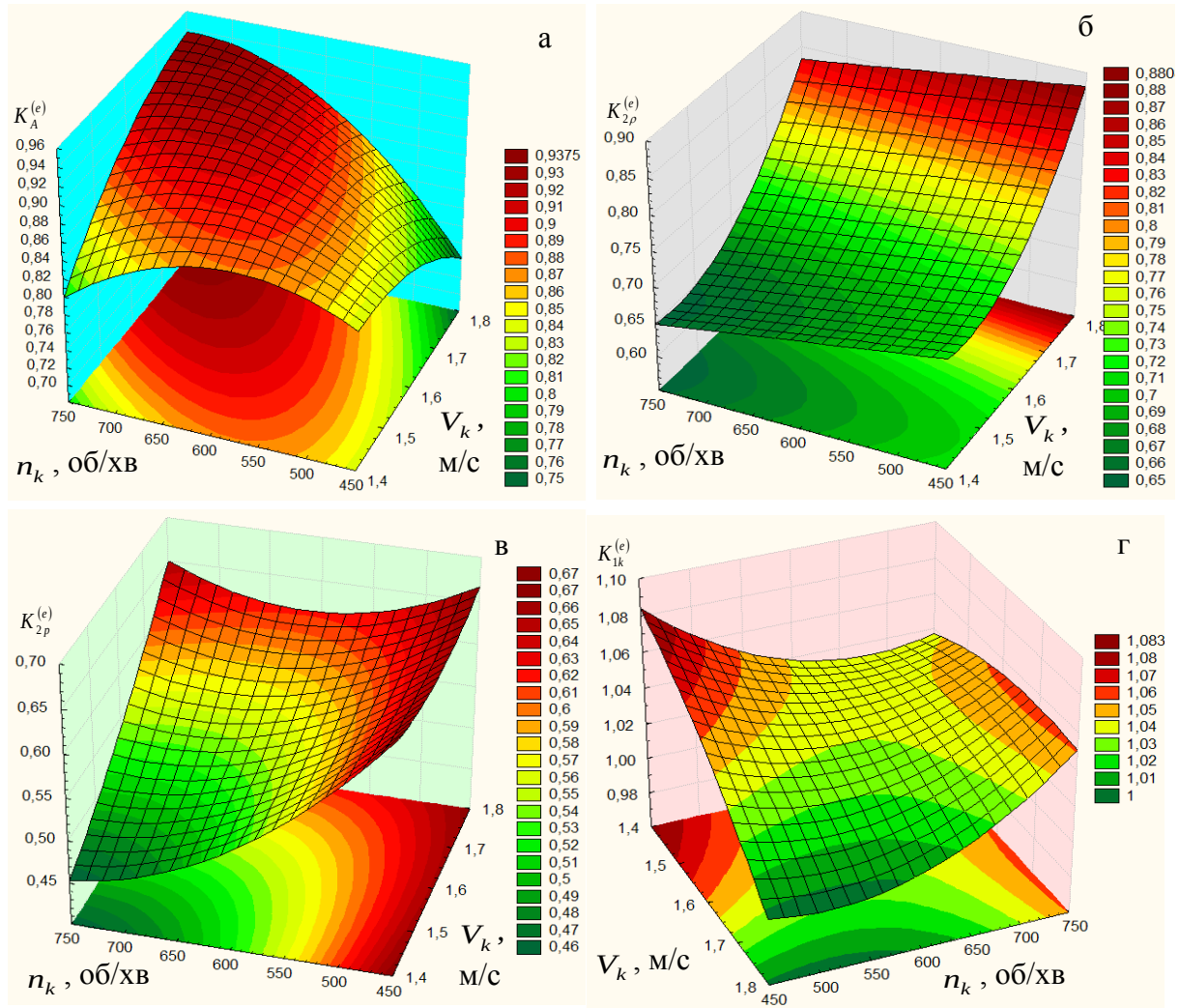


Рис. 4.8. Поверхня відгуку залежності зміни коефіцієнтів $K_A^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{1k}^{(e)}$ від швидкості руху V_k АКМ і частоти обертання приводного вала n_k АВТОКРО

Підвищення технологічної ефективності відокремлення домішок, тобто процесу інтенсифікації відокремлення домішок від коренеплодів, або зменшення часткових коефіцієнтів $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$ (рис. 4.8б, в), залежно від характеру зміни поступальної швидкості руху V_k АКМ, має зворотно-, а від зміни частоти обертання приводного вала n_0 АВТОКРО – прямо пропорційний зв'язок. Мінімальне значення коефіцієнта $K_{2\rho}^{(e)} = 0,6$, який враховує ступінь зниження подачі загальних ґрунтових домішок забезпечується при швидкості руху АКМ $V_k = 1,4$ м/с та частоти обертання приводного вала (пружної лопаті) АВТОКРО $n_k \geq 750$ об/хв (рис. 4.9б). Мінімальне значення коефіцієнта $K_{2\rho}^{(e)} = 0,46$, який

враховує ступінь зниження подачі загальних рослинних домішок також забезпечується при швидкості руху АКМ $V_k = 1,4$ м/с та частоті обертання приводного вала (пружної лопаті) АВТОКРО $n_k \geq 750$ об/хв (рис. 4.9в).

Таким чином зменшення значень коефіцієнтів $K_{2\rho}^{(e)}$ і $K_{2p}^{(e)}$, які характеризують ступінь зменшення домішок, або процес інтенсифікації відокремлення домішок від викопаного ВК у загальному контексті відбувається за зменшення швидкості руху V_k та збільшення частоти обертання n_k приводного вала АВТОКРО.

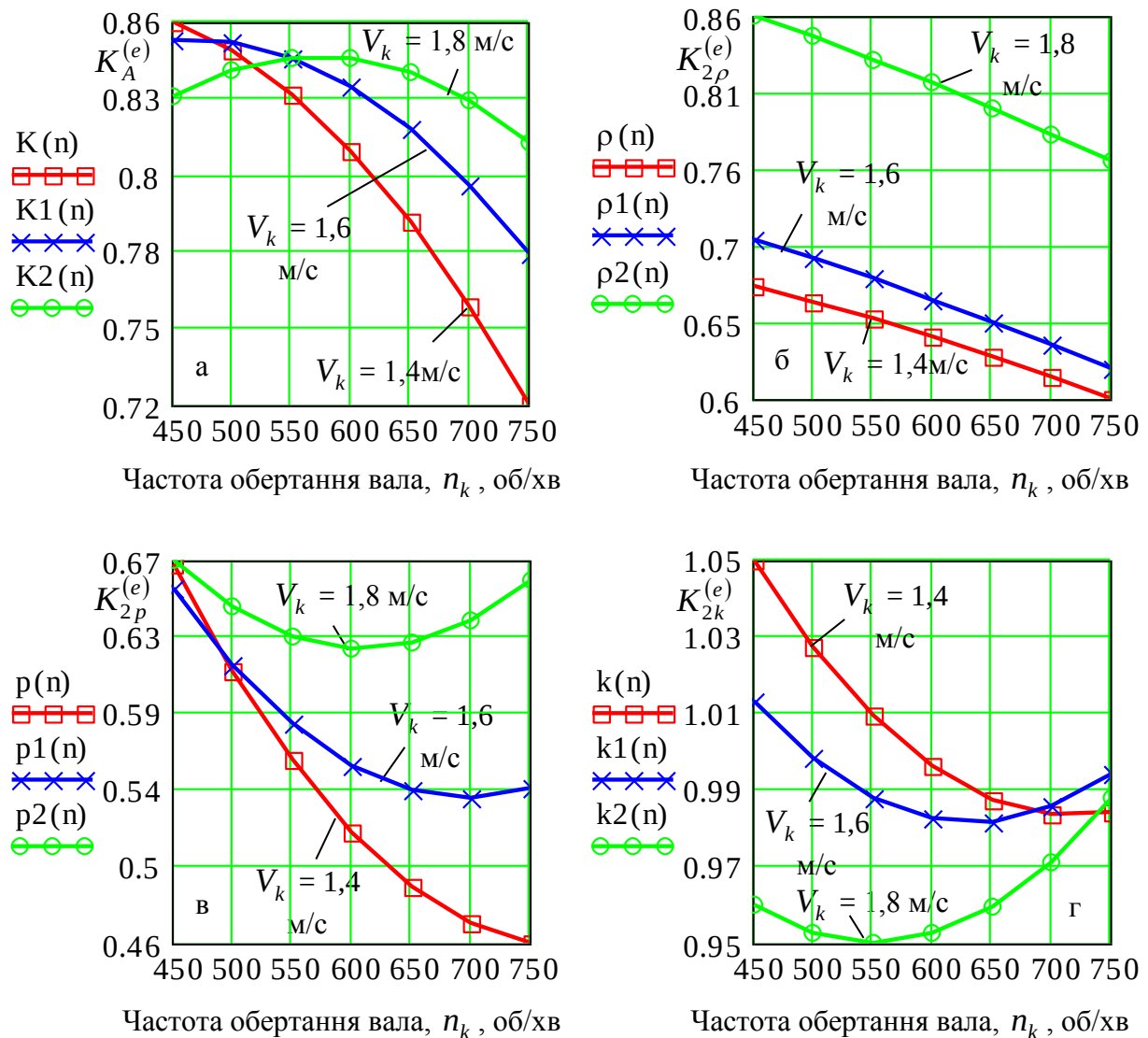


Рис. 4.9. Залежність зміни коефіцієнтів від швидкості руху АКМ V_k і

частоти обертання приводного вала АВТОКРО n_k :

$$a - K_2^{(e)}; б - K_{2\rho}^{(e)}; в - K_{2p}^{(e)}; г - K_{2k}^{(e)}$$

Одержані числові значення коефіцієнта втрат коренеплодів $K_{1k}^e > 1,0$ (рис. 4.9г) характеризують спроможність АВТОКРО зменшувати їх втрати за швидкості руху АКМ $V_k \leq 1,5$ м/с та частоті обертання приводного вала $n_k \geq 650$ об/хв шляхом додаткової динамічної дії лопаті на тіло викопаних дрібних коренеплодів за рахунок їх проштовхування в простір між дисками, прискорюючи тим самим переміщення коренеплодів на наступні ТТС АКМ.

Визначенні експериментальним шляхом значення коефіцієнтів $K_A^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$, $K_{1k}^{(e)}$ дають змогу на емпіричному рівні проводити прогнозовані теоретичні розрахунки секундних подач ВК АКМ згідно із залежностями (3.73)-(3.81), при цьому i -е значення секундної подачі ВК після його викопування АВТОКРО визначають за формулою $Q_{2i} = Q_{1i} K_{2i}^{(e)}$, а одержані значення коефіцієнтів $K_A^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)} < 1$ і $K_{1k}^e > 1,0$ свідчать про доцільність застосування приводного вала в комбінації з сферичним диском для викопування коренеплодів, під час якого відбувається доволі значна інтенсифікація процесу відокремлення домішок від викопаного ВК.

Для підтвердження основних теоретичних викладень, які відносяться до встановлення закономірностей зміни секундних подач складових компонентів ВК під час його викопування АВТОКРО, провели лабораторно-польові експериментальні дослідження, порядок реалізації яких наведено у підрозділі 4.1. Дослідження проводилися відповідно до розробленої програми та методики на основі реалізації багатofакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 [233, 252].

На основі реалізації вибраного експериментального плану та аналізу результатів одержаних теоретичних положень досліджували залежності, які характеризують зміну загальної секундної подачі $Q_2^{(e)}$ ВК, секундних подач складових компонентів ВК: загальних ґрунтових $Q_{2\rho}^{(e)}$ і рослинних $Q_{2p}^{(e)}$ домішок залежно від одночасної зміни двох факторів – поступальної швидкості руху V_k АКМ та частоти обертання приводного вала n_k .

Залежності зміни секундних подач знаходили у вигляді функціонала

$Q_{2i}^{(e)} = f_2(V_k, n_o)$, де фактор V_k і n_k варіювали у таких межах: $1,4 \leq V_k \leq 1,6$ (м/с); $450 \leq n_k \leq 750$ (об/хв.).

Характеристика факторів і рівні їх варіювання у відповідних стовбцях план-матриці експериментів (табл. 4.3) наведено у табл. 4.2. Інші конструктивні параметри АВТОКРО встановлено згідно з теоретичними дослідженнями, при цьому вони становили: $D = 0,45$ м; $h = 0,09$ м; $\alpha = 30$ град.

Після обробки одержаних експериментальних значень одержано рівняння регресії зміни секундних подач ВК у натуральних величинах залежно від швидкості руху АКМ V_k та частоти обертання приводного вала n_k у межах дії встановлених факторів

$$\left. \begin{aligned} Q_2^{(e)} &= -40,7 + 68,1V_k - 0,01n_k + 0,05V_k n_k - 27,1V_k^2 - 5,1 \cdot 10^{-5} n_k^2; \\ Q_{2k}^{(e)} &= 1,9 + 12,7V_k - 0,02n_k + 0,01V_k n_k - 4,2V_k^2 + 8,2 \cdot 10^{-6} n_k^2; \\ Q_{2\rho}^{(e)} &= -19,4 + 17,2V_k + 0,03n_k + 0,003V_k n_k - 1,7V_k^2 - 2,1 \cdot 10^{-5} n_k^2; \\ Q_{2p}^{(e)} &= 7,9 - 6,8V_k - 0,001n_k + 0,002V_k n_k + 2,1V_k^2 + 3,6 \cdot 10^{-6} n_k^2 \end{aligned} \right\}. \quad (4.11)$$

Аналіз рівнянь регресії (4.11) показує, що існує функціональний зв'язок зміни загальної секундної подачі та секундних подач складових компонентів ВК залежно від рівнів варіювання факторами, тобто швидкості руху V_k АКМ та частоти обертання приводного вала n_k АТОКРО, апроксимуючих функцій $Q_{2i}^{(e)} = f_2(V_k, n_o)$.

Залежно від зміни швидкості руху V_k АКМ у межах варіювання фактора $1,4 \leq V_k \leq 1,8$ (м/с), секундні подачі $Q_{2i}^{(e)}$ складових компонентів ВК зростають прямо пропорційно зміні V_k і навпаки – збільшення частоти обертання лопаті n_k приводного вала у межах варіювання фактора $450 \leq n_k \leq 750$ (об/хв) приводить до зворотного характеру зменшення секундних подач, за винятком зміни секундної подачі коренеплодів $Q_{2k}^{(e)}$, яка адекватна функціональному характеру зміни $K_{1k}^{(e)}$, чи співпадає з ним.

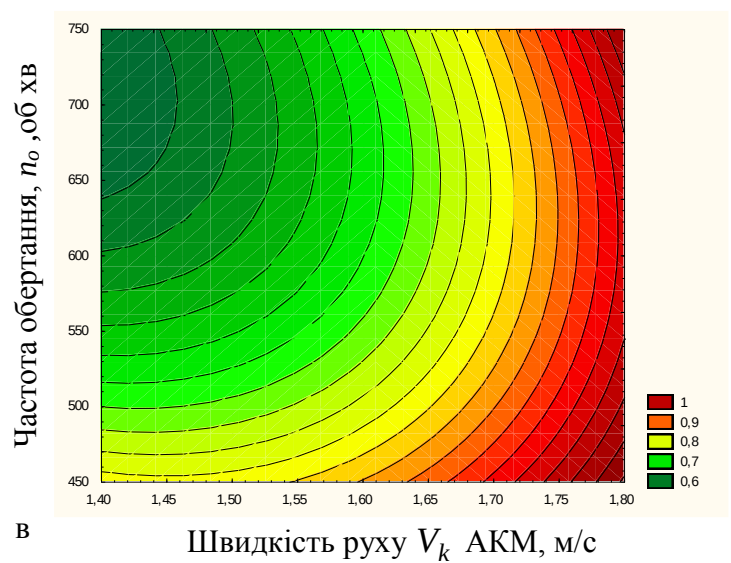
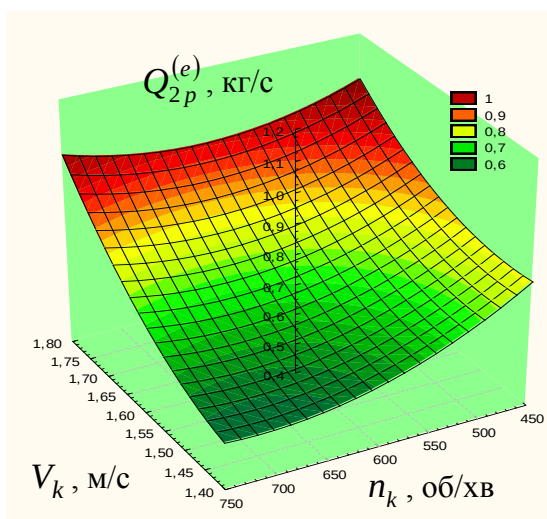
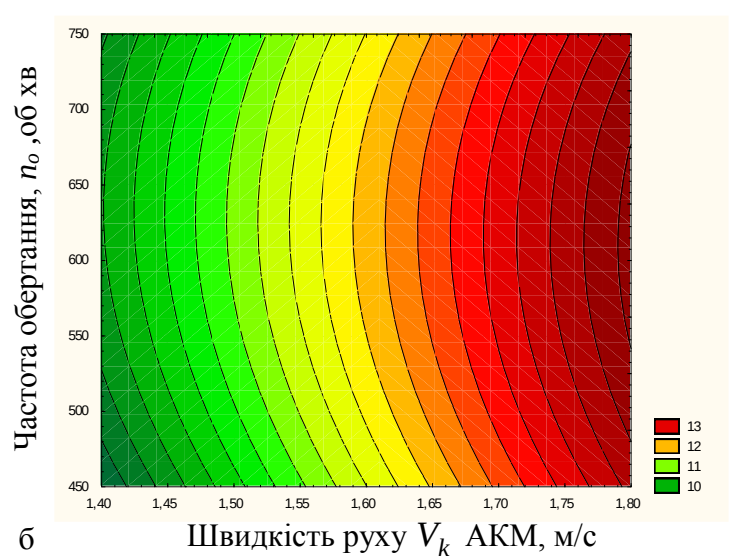
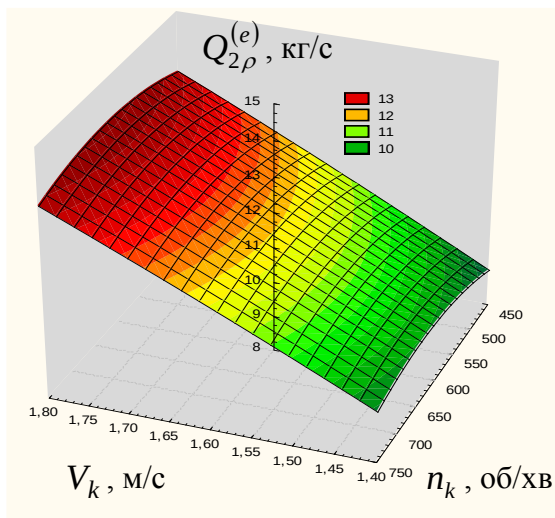
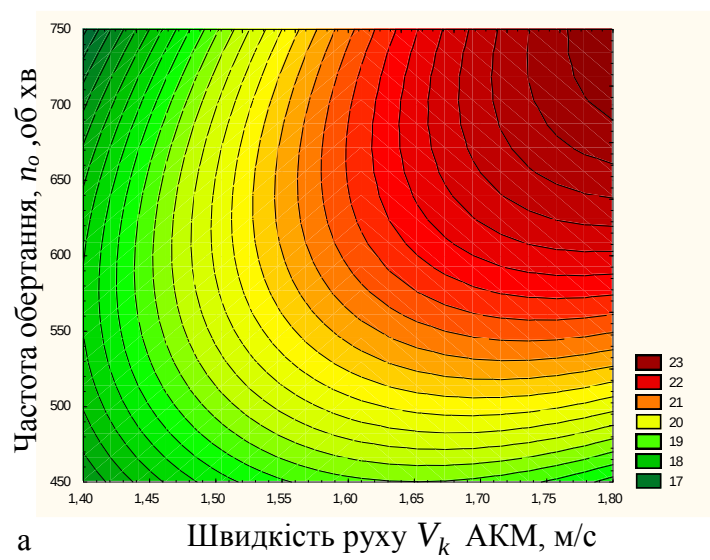
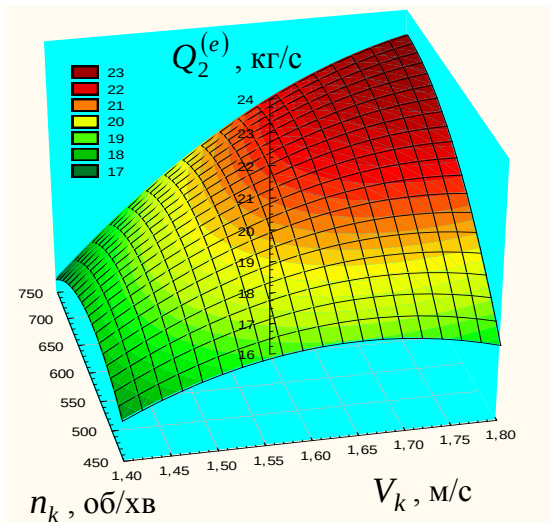


Рис. 4.10. Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності зміни функціонала: а – $Q_2^{(e)} = f_2(V_k, n_o)$; б – $Q_{2p}^{(e)} = f_2(V_k, n_o)$; в – $Q_{2p}^{(e)} = f_2(V_k, n_o)$

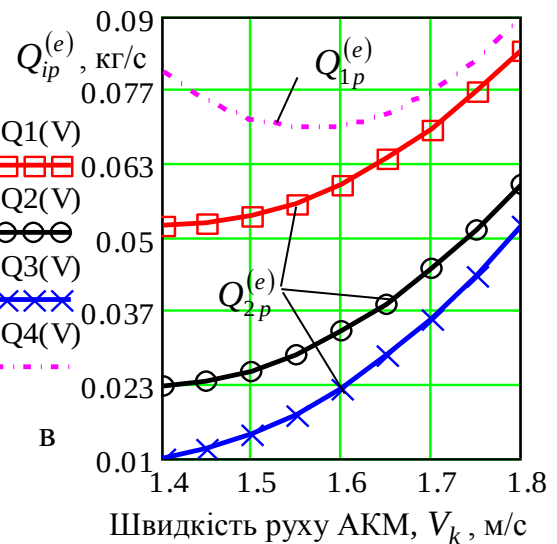
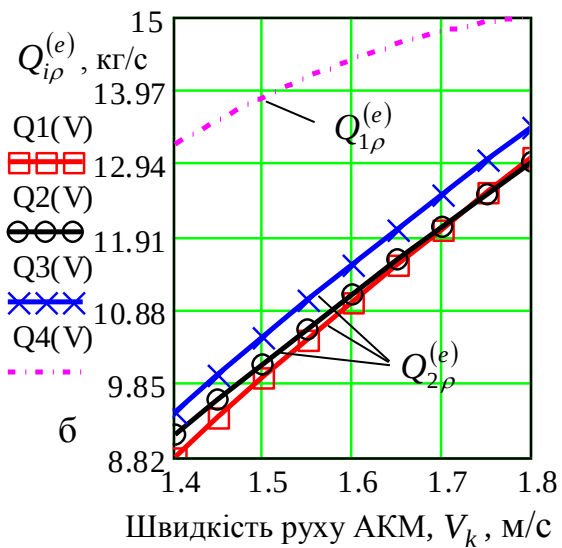
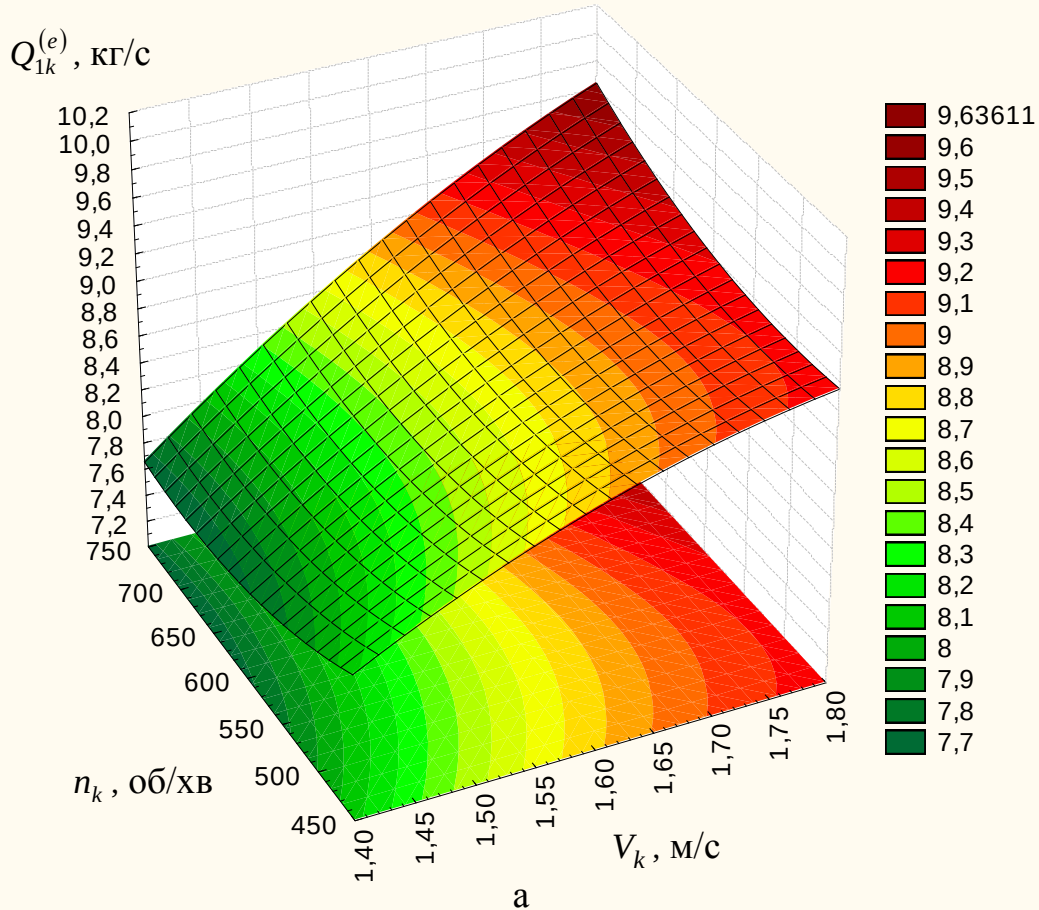


Рис. 4.11. Поверхня відгуку залежності зміни подачі коренеплодів (а)

як функціонал $Q_{1k}^{(e)} = f_2(V_k, n_o)$ і залежність зміни секундної подачі

від V_k : б – загальних ґрунтових домішок; в – загальних рослинних

домішок від частоти обертання очисного вала n_k

Аналіз побудованих поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів показує, що загальна секундна подача $Q_2^{(e)}$ ВК (рис. 4.10а) монотонно зростає в межах 17...23 (кг/с) при зміні швидкості руху АКМ від 1,4 до 1,7 (м/с) та частоти обертання приводного вала від 450 до 650 (об/хв), а подальше збільшення швидкості руху V_k АКМ та частоти обертання приводного вала n_k АВТОКРО призводить до зменшення $Q_2^{(e)}$.

Таким чином можна констатувати, що ефективність процесу відокремлення домішок від ВК спочатку погіршується у зв'язку з загальним збільшенням кількості надходження ВК, а потім за мірою підвищення динамічного ефекту викопувального сферичного диска та лопатей приводного вала монотонно збільшується, тобто інтенсифікація процесу відокремлення домішок від викопаного ВК значно підвищується. Даний висновок також підтверджується результатами досліджень, які наведено у [1] та характером зміни коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_A^{(e)}$ АВТОКРО, рис. 4.8а, 4.9а.

Адекватність зміни $Q_2^{(e)}$ залежно від частоти обертання приводного вала n_k АВТОКРО характерна також для процесу відокремлення загальних ґрунтових домішок $Q_{2p}^{(e)}$ (рис. 4.10б), зміна яких знаходиться в межах 10...13 (кг/с), а залежність зміни загальних рослинних домішок $Q_{2p}^{(e)}$ від швидкості руху V_k АКМ та частоти обертання приводного вала n_k АВТОКРО має, відповідно, прямо- та зворотно пропорційний характер: зі збільшенням V_k подача загальних рослинних домівок збільшується і навпаки – збільшення n_k призводить до зменшення $Q_{2p}^{(e)}$ за рахунок підвищення інтенсивності відокремлення залишків гички з головок коренеплодів, або збільшення кількості ударів лопаті по головці коренеплоду.

Мінімальне значення секундної подачі загальних рослинних домішок $Q_{2p}^{(e)}$ (рис. 4.10в), яке в середньому становить 0,6 кг/с забезпечується за швидкості руху АКМ до 1,5 м/с та частоти обертання приводного вала $650 \leq n_k \leq 750$ (об/хв).

Подача коренеплодів $Q_{2k}^{(e)}$ зростає за збільшення, як і швидкості руху V_k АКМ, так і за збільшення частоти обертання приводного вала n_k АВТОКРО та знаходиться у межах $7 \dots 10$ (кг/с) залежно від значень V_k і n_k , рис. 4.11а.

Згідно рис. 4.10, 4.11 найбільша динамічна інтенсифікація процесу зменшення загальної секундної подачі $Q_2^{(e)}$, секундної подачі загальних ґрунтових домішок $Q_{2\rho}^{(e)}$ і загальних рослинних домішок $Q_{2p}^{(e)}$, яка подається АВТОКРО на наступні ТТС АКМ відбувається при частоті обертання очисного вала $n_o \geq 650$ об/хв та $V_k \leq 1,6$ м/с, при цьому порівняно з відповідними секундними подачами $Q_1^{(e)}$, $Q_{1\rho}^{(e)}$ і $Q_{1p}^{(e)}$, вони зменшуються у середньому, відповідно в 1,4, 1,6 і 2 рази.

У загальному контексті, мінімальне значення апроксимуючих функцій подач ґрунтових і рослинних домішок як функціоналів $Q_{2\rho}^{(e)} = f_2(V_k, n_o)$, $Q_{2p}^{(e)} = f_{2p}(V_k, n_o)$ досягається за мінімального V_k та максимального n_k рівнів варіювання факторами.

4.3. Результати експериментальних досліджень адаптованого транспортно-очисного комбінованого робочого органу

Під час інтенсифікації процесу відокремлення домішок від ВК АТОКРО відбувається контактна взаємодія коренеплоду з витком шнека. Для встановлення закономірності зміни кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)}$ залежно від параметрів АТОКРО проведено експериментальні дослідження процесу співудару коренеплодів 12 з витком 15 шнека 14 з застосуванням маятникового копра (рис. 4.3а).

Експериментальні дослідження кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)}$ проведено з метою перевірки адекватності теоретичних положень щодо встановлення закономірностей характеру зміни кута відбивання коренеплоду згідно з методикою, яку наведено в підрозділі 4.1.

Дослідження кута відбивання $\gamma^{(e)}$ дерев'яного макетного зразка коренеплоду 6 (рис. 4.3б) після його контактної взаємодії з витком 2 шнека 3 залежно від параметрів АТОКРО провели на основі реалізації трифакторного експерименту типу ПФЕ 3³, при цьому кількість заходів шнека $z=1$, $T=0,5$ м, $\alpha_n = 30^0$ [240].

Апроксимуючу функцію кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)} = f_{\gamma^{(e)}}(D, \omega_o, \alpha_o)$, адекватність якої перевіряли за критерієм Фішера встановлено у вигляді логарифмічної залежності. Після обробки експериментальних даних (табл. 4.7) і оцінки статистичної значущості одержаних коефіцієнтів рівняння регресії та перевірки адекватності теоретичного розподілу випадкових величин вибраної апроксимуючої функції реальному процесу за відповідними t -альфа (критерієм Ст'юдента) і F -критерієм Фішера, одержали емпіричне рівняння регресії в натуральних величинах, яке характеризує зміну кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)}$ залежно від зміни діючих факторів у таких межах: діаметра шнека $0,4 \leq D \leq 0,8$ (м); кутової швидкості шнека $7 \leq \omega_o \leq 15$ рад/с; кута встановлення шнека відносно напрямку руху ВК $40 \leq \alpha_o \leq 90$ (град) [253]:

$$\gamma^{(e)} = 239,55 - 9,39 \ln(D) - 24,77 \ln(\omega_o) - 39,8 \ln(\alpha_o). \quad (4.12)$$

Статистичні показники перевірки адекватності апроксимуючої моделі та значимості коефіцієнтів одержаного рівняння регресії (4.12) під час проведення експериментальних досліджень кута відбивання коренеплоду після його взаємодії з витком шнека АТОКРО як функціонала $\gamma^{(e)} = f_{\gamma^{(e)}}(D, \omega_o, \alpha_o)$ наведено у додатку Г.3.3.

Аналіз рівняння регресії (4.12) та побудованих згідно нього поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів, як функціоналів параметра оптимізації $\gamma^{(e)} = f_{\gamma^{(e)}}(D, \alpha_o)$ та $\gamma^{(e)} = f_{\gamma^{(e)}}(\omega_o, \alpha_o)$ (рис. 4.12) показує, що основний масив апроксимованих експериментальних значень процесу дослідження кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)}$ після його контактної взаємодії з витком шнека АТОКРО

знаходиться у діапазоні зміни $\gamma^{(e)} = 0 \dots 60$ (град).

Таблиця 4.7

Значення даних під час проведенні експериментів типу ПФЕ 3^3

№ п/п	Позначення фактора та його значення			Значення величин		
	$x_1 \rightarrow \omega_o,$ рад/с	$x_2 \rightarrow D,$ м	$x_3 \rightarrow \alpha_o,$ град	$\gamma^{(e)},$ град	$V_a^{(e)},$ м/с	$K_{II}^{(e)}$
1	(-1) 7	(-1) 0,4	(-1) 40	65	1,39	0,72
2	(+1) 15	0,4	40	60	0,84	1,19
3	(0) 11	0,4	40	55	1,16	0,86
4	7	(+1) 0,8	40	50	1,07	0,93
5	15	0,8	40	45	0,64	1,46
6	11	0,8	40	40	0,74	1,36
7	7	(0) 0,6	40	35	1,29	0,78
8	15	0,6	40	30	0,67	1,49
9	11	0,6	40	25	0,93	1,08
10	7	0,4	(0) 65	20	1,45	0,69
11	15	0,4	65	5	0,87	1,15
12	11	0,4	65	0	1,22	0,82
13	7	0,8	65	5	1,12	0,89
14	15	0,8	65	15	0,66	1,52
15	11	0,8	65	0	0,76	1,32
16	7	0,6	65	5	1,35	0,74
17	15	0,6	65	0	0,7	1,43
18	11	0,6	65	0	0,97	1,03
19	7	0,4	(+1) 90	20	1,42	0,7
20	15	0,4	90	15	0,86	1,16
21	11	0,4	90	15	1,19	0,84
22	7	0,8	90	22	1,09	0,92
23	15	0,8	90	17	0,65	1,54
24	11	0,8	90	12	0,75	1,33
25	7	0,6	90	18	1,32	0,75
26	15	0,6	90	13	0,69	1,45
27	11	0,6	90	8	0,95	1,05

Встановлено, що значення кута відбивання коренеплоду рівному нулю, тобто $\gamma^e = 0$, досягається при встановленні шнека відносно напрямку та значення швидкості руху подавального транспортера $V_m = 1,5$ м/с під кутом у межах

$65 \leq \alpha_o \leq 75$ (град) та $D \geq 0,7$ м (рис. 4.12а). У межах зміни кута встановлення шнека $55 \leq \alpha_o \leq 85$ (град) та кутової швидкості шнека $7 \leq \omega_o \leq 15$ (рад/с) для його діаметра $D=0,6$ м, значення кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)}$ не перевищує 10 градус, тобто $\gamma^{(e)} \leq 10$ град (рис. 4.12б).

Розбіжність значень кута відбивання коренеплоду, які побудовані згідно з аналітичною γ (3.108) та емпіричною $\gamma^{(e)}$ (4.12) математичними моделями перебуває в межах 7...16 %, рис. 4.13.

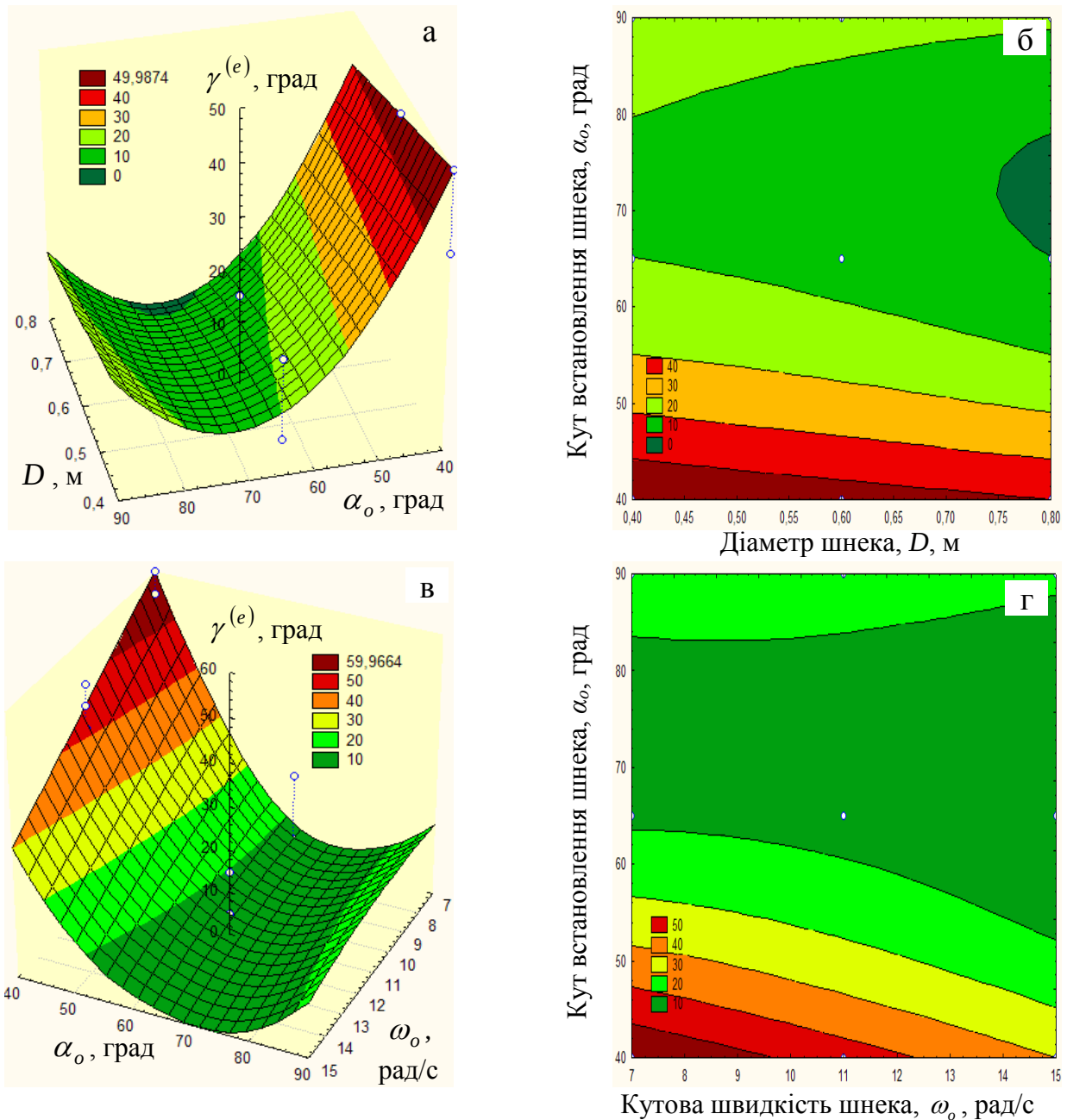


Рис. 4.12. Поверхня відгуку та її двомірний переріз зміни кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)}$ від: а, б – D, α_o ; в, г – ω_o, α_o

На основі цього можна констатувати, що одержана теоретична детермінована математична модель (3.108) у загальному адекватно описує реальний процес зміни експериментального масиву значень кута відбивання коренеплодів $\gamma^{(e)}$ після їх контактної взаємодії з витком шнека АВТОКРО.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що у загальному контексті умова раціонального режиму роботи АТОКРО, або умова $\gamma^{(e)} = 0$ або близька до неї, забезпечується при зміні кута встановлення шнека α_o відносно напрямку руху ВК у межах $65 \leq \alpha_o \leq 75$ (град) для встановлених відповідних значень діапазонів діаметра D та кутової швидкості ω_o шнека.

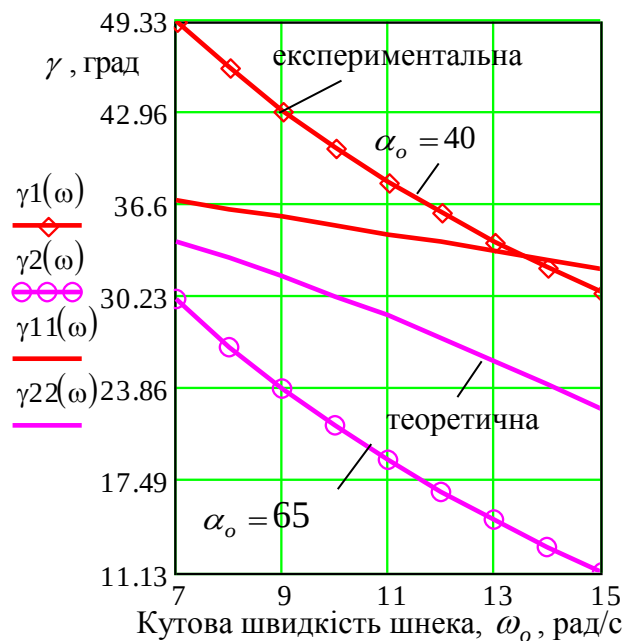


Рис. 4.13. Залежність зміни кута відбивання коренеплоду γ від кутової швидкості шнека при $D = 0,6$ м

Для підтвердження теоретичних закономірностей із визначення коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_H^{(e)}$ АВТОКРО, після обробки результатів експериментальних даних (табл. 4.7) одержано регресійне рівняння зв'язку коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_H^{(e)}$ АВТОКРО з показниками вхідних факторів у вигляді залежності у таких межах зміни факторів: діаметра шнека $0,4 \leq D \leq 0,8$ (м); кутової швидкості шнека $7 \leq \omega \leq 15$ рад/с; кута встановлення шнека відносно

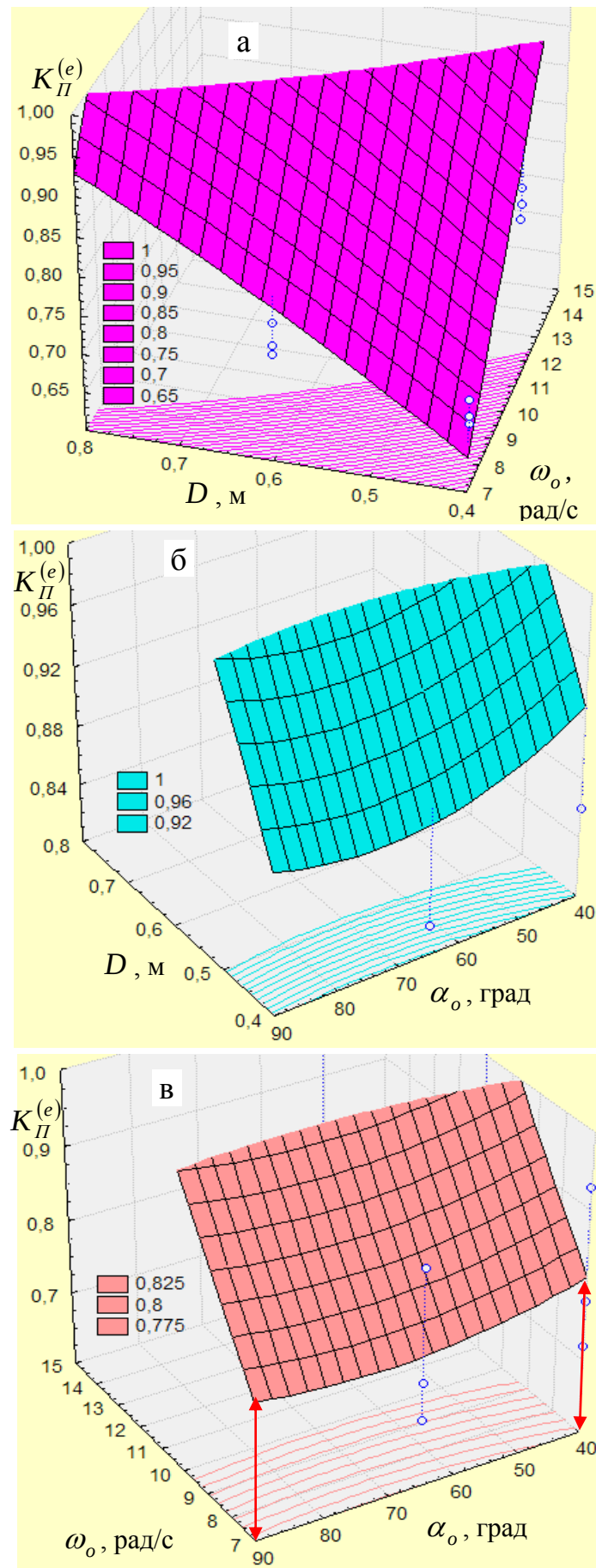


Рис. 4.13. Поверхня відгуку зміни коефіцієнта динамічного ефекту роботи

АТОКРО за умови $K_{\Pi}^{(e)} \leq 1$ від: а – D, ω_o ; б – D, α_o ; в – ω_o, α_o

напрямку руху ВК $40 \leq \alpha \leq 90$ (град) [247]:

$$K_{II}^{(e)} = 2,28 - 0,27 / D - 7,35 / \omega_o + 1,58 / \alpha_o. \quad (4.13)$$

Статистичні показники перевірки адекватності апроксимуючої моделі та значимості коефіцієнтів одержаного рівняння регресії (4.13) під час проведення експериментальних досліджень коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_{II}^{(e)}$ АТОКРО як функціонала $\gamma^{(e)} = f_{\gamma^{(e)}}(D, \omega_o, \alpha_o)$ наведено у додатку Г.3.3.

Встановлено, що конструктивно-кінематичні параметри шнека АТОКРО, які задовольняють накладену умову значень коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_{II}^{(e)} \leq 1$ АТОКРО (рис. 4.14), або забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів, що не виходять за межі, встановлених згідно з агротехнічними вимогами до КМ [228, 229] функціонально забезпечуються при $7 \leq \omega_o \leq 12$ (рад/с) і відповідних значень діаметра шнека $D = 0,8$ і $D \leq 0,4$ (м).

Для діаметра шнека $D = 0,6$ м і межі зміни кутової швидкості шнека $10 \leq \omega_o \leq 15$ рад/с та діаметра шнека $D = 0,5$ м і меж зміни кутової швидкості шнека $12 \leq \omega_o \leq 15$ рад/с умова значень коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_{II}^{(e)} \leq 1,0$ АТОКРО не виконується.

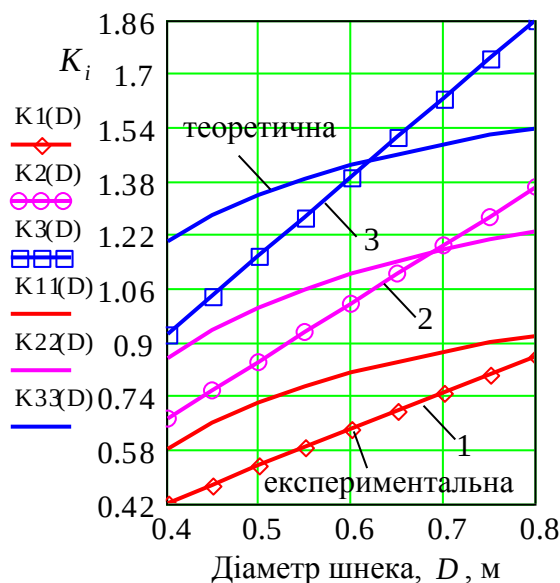


Рис. 4.14. Залежність зміни коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_{II}^{(e)}$ АТОКРО від діаметра шнека: 1, 2, 3 – $\omega_o = 7, 11, 15$

Кут встановлення шнека α_o відносно напрямку руху коренеплоду по подавальному транспортеру АТОКРО в межах дії фактора (кутової швидкості шнека ω_o) $40^0 \leq \alpha_o \leq 90^0$ суттєво не впливає на ступінь зміни пошкодження коренеплодів – значення коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_H^{(e)}$ АТОКРО знаходяться у межах $0,8 \dots 0,82$.

Розбіжність аналітичних і емпіричних значень коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_H^{(e)}$ АТОКРО у середньому становить $9 \dots 17$ % (рис. 4.14), тобто розроблена теоретична математична модель (3.109) адекватна реальному існуючому процесу, або достовірно описує процес взаємодії коренеплодів з витком шнека з урахуванням формалізації об'єкту досліджень і може, поряд з одержаним емпіричним рівнянням регресії (4.13), бути використана для подальшого обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи ТТС АТОКРО і АКМ загалом [253].

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень рекомендовано такі раціональні параметри АВТОКРО та АТОКРО: діаметр викопувального диска $D = 0,45$ м; кут атаки диска $\alpha = 30^0$; глибина ходу диска $h = 0,07 \dots 0,09$ м; частота обертання приводного вала $n_o = 600 \dots 660$ об/хв, швидкість руху подавального транспортера – $1,5 \dots 1,6$ м/с; діаметр шнека – $0,6$ м; частота обертання шнека – $80 \dots 100$ об/хв; кут підйому гвинтової лінії – 30^0 ; висота витка шнека – $0,25$ м.

4.4. Результати порівняльних досліджень показників якості роботи адаптованої і базової коренезбиральних машин

Ступені загального забруднення ВК домішками, пошкодження коренеплодів і їх втрати та кількості налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів визначають технологічний рівень АКМ, або ефективність її застосування.

Вихідними даними для проведення аналізу одержаних результатів порівняльних випробувань показників якості роботи удосконаленої КМ МКК-6 були агротехнічні вимоги до коренезбиральних машин [228, 229], при цьому:

- загальна кількість домішок у зібраному ВК не повинна перевищувати 8% від загальної маси коренеплодів залікової ділянки;
- загальна кількість ґрунтових домішок у зібраному ВК не повинна бути більшою за 1,5 % від загальної маси зібраних коренеплодів залікової ділянки;
- загальні залишки гички на головках коренеплодів не повинні перевищувати 1,5 % від загальної маси коренеплодів залікової ділянки;
- кількість пошкоджених коренеплодів не повинна бути більшою за 15 %, у тому числі сильнопошкоджених – не більше 7 %, слабо пошкоджених – не більше 8 % від загальної маси зібраних коренеплодів залікової ділянки;
- кількість втрачених коренеплодів викопуючими робочими органами не повинна перевищувати 1,5 %.

Для підтвердження технологічної ефективності роботи та доцільності використання АВТОКРО і АТОКРО у складі компоновальної схеми КМ МКК-6, які відносяться до визначення показників якості збирання коренеплодів, тобто втрат і пошкоджень коренеплодів, загальних домішок ВК і складових компоненті домішок провели порівняльні польові випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6.

Загальний вигляд удосконаленої КМ МКК-6 наведено рис. 4.15а, а загальний вигляд АВТОКРО – на рис. рис. 4.15б. На рис. 4.15в наведено загальний вигляд коренезбиральної машини в роботі (МКК-6+МТЗ-50+2ПТС-4).

Удосконалення технологічного процесу збирання коренеплодів полягає у тому, що одночасно з викопуванням коренеплодів сферичним диском 4 АВТОКРО (рис. 4.15б) відбувається очищення залишків гички з головок коренеплодів і інтенсифікація процесу руйнування компонентів ґрунтових домішок (грудок ґрунту) за рахунок динамічної взаємодії пружних лопатей 6, які змонтовано на приводному валу 5 на складові компонента домішок викопаного ВК.

Крім того інтенсифікація процесу відокремлення домішок відбувається також за рахунок взаємодії очисних елементів АТОКРО на компоненти домішок ВК і тіло коренеплодів шляхом очищення його від налиплого ґрунту, а також відокремлення залишків гички на головках коренеплодів відминальними вальцями.

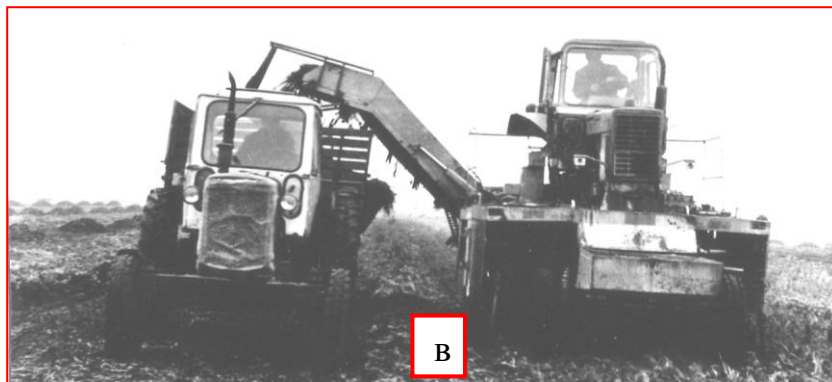
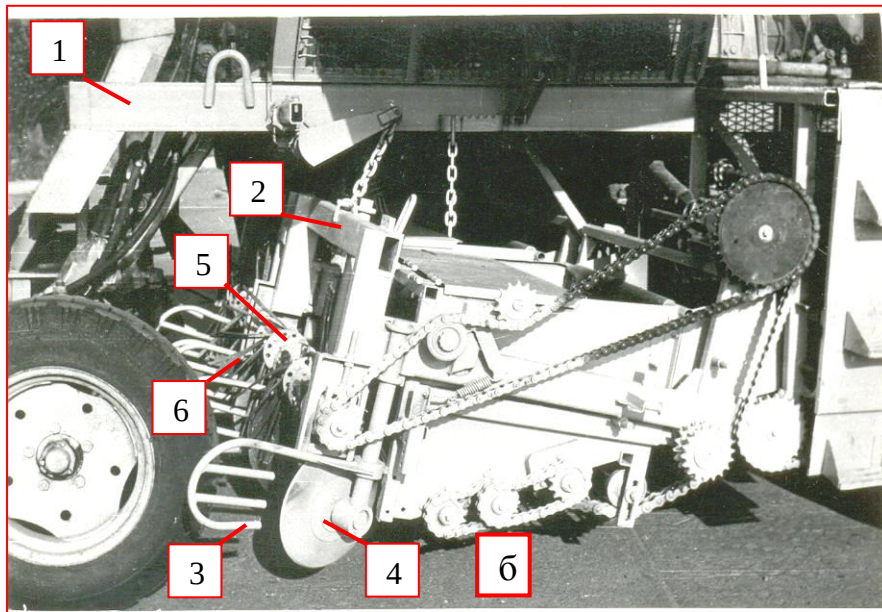
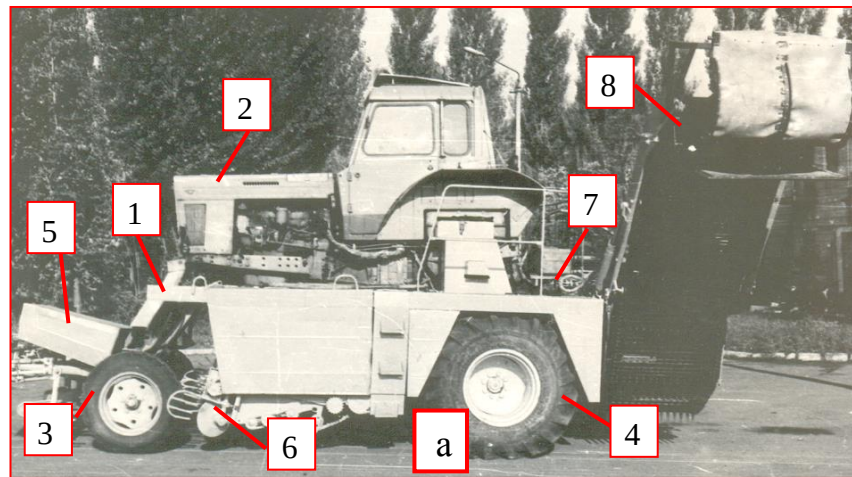


Рис. 4.15. Загальний вигляд: а – удосконаленої КМ МКК-6:
 1 – рама; 2 – трактор; 3, 4 – опорні колеса; 5 – автомат керування;
 6 – АВТОКРО; 7 – АТОКРО; 8 – вивантажувальний транспортер;
 б – АВТОКРО: 1 – рама машини; 2 – рухома рама копача;
 3 – корененапрямляч; 4 – односторонній сферичний диск; 5 – приводний вал;
 6 – пружні очисні лопаті; в – коренезбиральна машина в роботі

Показники якості виконання технологічного процесу

Найменування показників	Значення показників		
	Модерні- зована	Серійна	АТВ
Робоча швидкість руху, м/с	1,5	1,5	до 1,6
Продуктивність за годину основного часу, га/год	1,5	1,4	до 1,5
Глибина підкопування:			
- середня, см	9,0	9,0	-
- середньоквадратичне відхилення, $\pm$ см	0,85	0,85	-
Якість підкопування і підбору коренеплодів, %:			
- зібрано машиною	99,0	98,7	98,5
- втрати, всього	1,0	1,3	1,5
у тому числі:			
- невикопаних коренеплодів	0,3	0,3	0,5
- на поверхні ґрунту	0,2	0,3	-
- присипаних ґрунтом	0,5	0,7	-
Склад вороху зібраних коренеплодів, %:			
- коренеплоди	95,9	89,8	-
- домішки, всього	4,1	10,2	8,0
у тому числі:			
- вільного ґрунту	1,3	3,2	1,5
- налиплого ґрунту на коренеплодах	0,6	1,7	-
- рослинних решток, всього	2,2	5,3	3,5
у тому числі:			
- вільної гички та бур'янів	1,8	2,5	2,0
- залишків гички на головках коренеплодів	0,4	2,8	1,5
Пошкодження коренеплодів, %:			
- всього	8,5	8,5	15,0
у тому числі:			
- сильно пошкоджених	3,5	3,5	5,0

Значення конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи удосконаленої КМ МКК-6 встановлювали за результатами проведених досліджень.

Аналіз табл. 4.8 показує, що за показниками пошкодження коренеплодів досліджувальні машини рівноцінні – пошкодження коренеплодів удосконаленої та серійної машин становлять 8,5 (%), у тому числі сильнопошкоджених коренеплодів – 3,5 %.

За іншими показниками виконання технологічного процесу збирання коренеплодів удосконалена КМ значно покращує показники серійної машини МКК-6.

Так втрати коренеплодів у серійної машини становлять 1,3 %, а у удосконаленої – 1,0 %, тобто зменшуються у 1,3 рази, причому зменшення втрат відбувається за показником присипаних коренеплодів ґрунтом (0,5 проти 0,7 %) і втрат викопаних коренеплодів на поверхні ґрунту – 0,2 проти 0,3 %.

Крім того, загальна кількість домішок у воросі зібраних коренеплодів у серійної машини становить 10,2 %, тоді як цей показник в удосконаленої машини становить 4,1 %, тобто зменшується приблизно в 2,5 рази, що є суттєвим внеском у плані подальшого удосконалення технологічного процесу збирання коренеплодів.

За окремими показниками складових компонента домішок ВК, удосконалена КМ також має значно менші показники відносно показників серійної машини МКК-6.

Кількість вільного ґрунту у воросі при роботі удосконаленої машини зменшується з 3,2 % до 1,3 %, тобто приблизно в 2,5 рази, а кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів становить 0,6%, тоді, як у базової машини цей показник складає 1,7 %, тобто зменшується в 3 рази. Кількість залишків гички на головках коренеплодів зменшується у 7 разів.

Зменшення загальної кількості домішок ВК, у тому числі кількості налиплої землі на коренеплодах у 3 рази, рослинних решток приблизно в 2,4 рази, у тому числі залишків гички на головках коренеплодів у 7 разів пояснюється тим, що в процесі викопування коренеплодів АВТОКРО відбувається одночасна динамічна взаємодія пружних лопатей приводного вала на складові компонента домішок, а в процесі очищення викопаного ВК АТОКРО – взаємодія очисних пружних елементів, які розміщено на барабані шнека, що призводить до значної динамічної інтенсифікації технологічного процесу відокремлення домішок від коренеплодів.

Таким чином, виходячи з аналізу порівняльних польових випробувань удосконаленої та серійної машин можна констатувати, що застосування на

серійній КМ АВТОКРО і АТОКРО дозволяє значно покращити агротехнічні показники процесу збирання коренеплодів у плані суттєвого зменшення домішок ВК і з упевненістю стверджувати, що вони є перспективним для подальшого удосконалення технологічного процесу збирання коренеплодів.

4.5. Попередні висновки до розділу

Відповідно до проведеного аналізу результатів експериментальних досліджень сформульовано наступні висновки.

4.1. Розроблено конструктивно-технологічну схему та виготовлено експериментальний дослідний зразок адаптованої коренезбиральної машини та удосконалений дослідний зразок коренезбиральної машини МКК-6.

4.2. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що коефіцієнт динамічного ефекту роботи АВТОКРО $K_A^{(e)}$ перебуває в межах $0,72 \leq K_A^{(e)} \leq 0,94$, а складових коефіцієнтів компонента домішок $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$ – у межах $0,6 \dots 0,8$; $0,3 \dots 0,5$. Мінімальне значення коефіцієнта $K_A^{(e)}$, тобто максимальна ефективність технологічного процесу відокремлення домішок від викопаного ВК досягається за $n_k \geq 600$ об/хв і $V_k \geq 1,5$ м/с, при цьому загальна маса домішок вороху ВК зменшується у середньому в 1,4 рази, а маси складових компонента домішок – в 1,6 і 2 рази.

4.3. Констатовано, що існує пропорційний функціональний зв'язок зміни секундних подач складових компонентів ВК залежно від рівнів варіювання факторами V_k , n_k : залежно від зміни V_k секундні подачі $Q_{2i}^{(e)}$ складових компонентів ВК зростають прямо пропорційно зміні V_k і навпаки – збільшення n_k призводить до зворотного характеру зменшення секундних подач за винятком зміни секундної подачі коренеплодів $Q_{2k}^{(e)}$, яка адекватна функціональному характеру зміни $K_k^{(e)}$, чи співпадає з ним.

4.4. Визначено, що раціональне значення кута відбивання коренеплоду

$\gamma^{(e)} = 0$ досягається за встановлення шнека відносно напрямку та значення $V_k = 1,5$ м/с під кутом $65^0 \leq \alpha_0 \leq 75^0$ та $D \geq 0,7$ м, а у межах зміни $55^0 \leq \alpha_0 \leq 85^0$ та кутовій швидкості $7 \leq \omega_0 \leq 15$ (рад/с) для $D = 0,6$ м його значення не перевищує 10^0 .

Розбіжність теоретичних та експериментальних значень кута відбивання коренеплоду перебуває в межах 7...16 %.

4.5. Встановлено, що конструктивно-кінематичні параметри шнека АТОКРО, які задовольняють умову $K_{II}^e \leq 1$ або забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів, що не виходять за межі, встановлених згідно з агротехнічними вимогами до коренезбиральних машин, функціонально забезпечуються за кутової швидкості $7 \leq \omega_0 \leq 12$ (рад/с) і відповідних значень діаметра шнека $D = 0,8$ і $D \leq 0,4$ (м).

4.6. Кут встановлення шнека α_0 відносно напрямку руху коренеплоду в межах дії фактора $40^0 \leq \alpha_0 \leq 90^0$ суттєво не впливає на ступінь зміни пошкодження коренеплодів – значення K_{II}^e перебуває в межах 0,8...0,82.

Розбіжність аналітичних і емпіричних значень коефіцієнта динамічного ефекту роботи АТОКРО у середньому становить 9...17 %.

4.7. Порівняльні польові дослідження удосконаленої коренезбиральної машини МКК-6 показали, що розроблений АВТОКРО забезпечує зниження загальної кількості домішок у воросі зібраних коренеплодів у 2,5 рази, у тому числі вільного ґрунту в 2,5 рази, налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів у 3 рази, залишків гички на головках коренеплодів у 7 разів.

4.8. За результатами експериментальних досліджень обґрунтовано такі раціональні параметри АВТОКРО та АТОКРО: діаметр викопувального диска $D = 0,45$ м; кут атаки диска $\alpha = 30^0$; глибина ходу диска $h = 0,07...0,09$ м; частота обертання приводного вала $n_0 = 600...660$ об/хв, 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 – 30^0 ; висота витка шнека – 0,25 м.

РОЗДІЛ 5

МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНОГО РОЗРАХУНКУ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТОВАНИХ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

5.1. Методика розрахунку раціональних параметрів і режимів роботи адаптованої коренезбиральної машини

На основі одержаних результатів аналітично-експериментальних досліджень розроблено методику інженерного розрахунку основних раціональних конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи базових ТТС АКМ з врахуванням конкретизованих форм коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М.

Основні етапи методики розрахунку раціональних параметрів і режимів роботи АКМ наступні.

1. Визначають прогнозовану загальну секундну подачу ВК і секундну подачу складових компонентів ВК з врахуванням рядності АКМ та визначених експериментальним шляхом коефіцієнтів $K_A^{(e)}$, $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$, які характеризують ступінь зменшення секундних подач складових компонентів ВК АВТОКРО за формулою (3.47), при цьому секундні подачі $dM_{1\rho} / dt$, dM_k / dt , розраховують за формулами (3.56), (3.66) із врахуванням при цьому розмірно-масових характеристик конкретизованої форми коренеплоду (додаток Д.1.1), тобто складову залежності (3.56) $j_1 V_{k\rho 1} + j_2 V_{k\rho 2} + \dots + j_n V_{k\rho n}$ (об'єм підземних частин коренеплодів) і складову залежності (3.66) $\rho_k (j_1 V_{k1} + j_2 V_{k2} + \dots + j_n V_{kn})$ (загальну масу коренеплодів [81]), а також прогнозовану масу налиплого ґрунту [254-258] та товщину шару налиплого ґрунту [259, 260] на поверхні тіла коренеплоду m_{ep} .

1.1. Визначають загальну секундну подачу ґрунтових домішок $dM_{2\rho} / dt$ для конкретизованої форми коренеплоду з врахуванням об'єму підземних частин

коренеплодів $j_1 V_{k\rho 1} + j_2 V_{k\rho 2} + \dots + j_n V_{k\rho n} = \sum_{i=1}^n j_i V_{k\rho i}$, при цьому об'єм підземної

частини формалізованої просторової форми коренеплоду (рис. 1.Д.1.1а, додаток Д.1.1) визначають за формулою

$$V_{k\rho}^a = \pi \int_0^{h_{\rho.c}} (R_k^2 - z^2) dz + \pi \int_0^{h_\rho} \frac{1}{k} (l_k^2 - z^2) dz =$$

$$= \pi \left[\left(R_k^2 z - \frac{z^3}{3} \right) \Big|_0^{h_{\rho.c}} + \frac{1}{k} \left(l_k^2 z - \frac{z^3}{3} \right) \Big|_0^{h_\rho} \right] = \pi \left(R_k^2 h_{\rho.c} - \frac{h_{\rho.c}^3}{3} + \frac{2h_\rho^3}{3k} \right), \quad (5.1)$$

де $V_{k\rho}^a$ – об’єм підземної частини відповідної формалізованої просторової форми коренеплоду, м³;

$h_{\rho.c}$, h_ρ – висота головки та глибина залягання коренеплоду в ґрунті, м;

l_k – довжина тіла коренеплоду, м.

Тоді залежність для визначення маси ґрунту, який безпосередньо подається на наступні очисні ТТС КМ АВТОКРО за 1 с розраховують за формулою:

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.Д.1.1а додатка Д.1.1

$$M_{2\rho}^a = \frac{\rho_{zp} V_k N_k (0,6...0,86)}{4a} \left[F_\rho \sin \alpha - 8\pi a \left[j_1 \left(0,25 D_{k_1}^2 h_{\rho.c_1} - \frac{k h_{\rho.c_1}^3 - 2h_{\rho_1}^3}{3k} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. j_2 \left(0,25 D_{k_2}^2 h_{\rho.c_2} - \frac{k h_{\rho.c_2}^3 - 2h_{\rho_2}^3}{3k} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \dots + j_n \left(0,25 D_{k_n}^2 h_{\rho.c_n} - \frac{k h_{\rho.c_n}^3 - 2h_{\rho_n}^3}{3k} \right) \right] \right]; \quad (5.2)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.Д. 1.1б додатка Д.1.1

$$M_{2\rho}^b = \frac{\rho_{zp} V_k N_k (0,6...0,86)}{4a} \left[F_\rho \sin \alpha - \frac{8\pi a}{3} \left[0,25 j_1 D_{k_1}^2 (3h_{\rho.c_1} + h_{\rho_1}) - j_1 h_{\rho.c_1}^3 + \right. \right. \\ \left. \left. + 0,25 j_2 D_{k_2}^2 (3h_{\rho.c_2} + h_{\rho_2}) - j_2 h_{\rho.c_2}^3 + \right. \right. \\ \left. \left. + \dots + 0,25 j_n D_{k_n}^2 (3h_{\rho.c_n} + h_{\rho_n}) - j_n h_{\rho.c_n}^3 \right] \right]; \quad (5.3)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.Д. 1.1в додатка Д.1.1

$$M_{2\rho}^e = \frac{\rho_{zp} V_k N_k (0,6...0,86)}{4a} \left[F_\rho \sin \alpha - \frac{8\pi a}{3} \left[\begin{aligned} & j_1 h_{\rho.c_1} (0,75 D_{k_1}^2 - h_{\rho.c_1}^2) + 0,25 j_1 \times \\ & \times [D_{k_1}'^2 h_{\rho_1} + h_{\rho.y_1} (D_{y.y_1}^2 + D_{y.y_1} D_{k_1}')] + \\ & + j_2 h_{\rho.c_2} (0,75 D_{k_2}^2 - h_{\rho.c_2}^2) + 0,25 j_2 \times \\ & \times [D_{k_2}'^2 h_{\rho_2} + h_{\rho.y_2} (D_{y.y_2}^2 + D_{y.y_2} D_{k_2}')] + \\ & + ... + j_n h_{\rho.c_n} (0,75 D_{k_n}^2 - h_{\rho.c_n}^2) + 0,25 j_n \times \\ & \times [D_{k_n}'^2 h_{\rho_n} + h_{\rho.y_n} (D_{y.y_n}^2 + D_{y.y_n} D_{k_n}')] \end{aligned} \right] \right]; \quad (5.4)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.Д. 1.1г додатка Д.1.1

$$M_{2\rho}^z = \frac{\rho_{zp} V_k (0,6...0,86)}{4a} \left[F_\rho \sin \alpha - \frac{8\pi a}{3} \left[\begin{aligned} & j_1 h_{\rho.c_1} (0,75 D_{k_1}^2 - h_{\rho.c_1}^2) + 0,25 j_1 D_{k_1}^2 \times \\ & \times (3h_{\rho_1} - 2h_{\rho.k_1}) + j_2 h_{\rho.c_2} (0,75 D_{k_2}^2 - h_{\rho.c_2}^2) + \\ & + 0,25 j_2 D_{k_2}^2 (3h_{\rho_2} - 2h_{\rho.k_2}) + ... + j_n h_{\rho.c_n} \times \\ & \times (0,75 D_{k_n}^2 - h_{\rho.c_n}^2) + 0,25 j_n D_{k_n}^2 (3h_{\rho_n} - 2h_{\rho.k_n}) \end{aligned} \right] \right]; \quad (5.5)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.Д. 1.1д додатка Д.1.1

$$M_{2\rho}^o = \frac{\rho_{zp} V_k N_k (0,6...0,86)}{4a} \left[F_\rho \sin \alpha - \frac{8\pi a}{3} \left[\begin{aligned} & 0,75 j_1 D_{k_1}^2 (h_{\rho.c_1} + h_{\rho_1} - h_{\rho.n_1}) - \\ & - j_1 (h_{\rho.c_1}^3 - 2h_{\rho.n_1}^3) + 0,75 j_2 D_{k_2}^2 \times \\ & \times (h_{\rho.c_2} + h_{\rho_2} - h_{\rho.n_2}) - j_2 (h_{\rho.c_2}^3 - 2h_{\rho.n_2}^3) + \\ & + ... + 0,75 j_n D_{k_n}^2 \times (h_{\rho.c_n} + h_{\rho_n} - h_{\rho.n_n}) - \\ & - j_1 (h_{\rho.c_n}^3 - 2h_{\rho.n_n}^3) \end{aligned} \right] \right]; \quad (5.6)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.д. 1.1ж додатка д.1.1

$$M_{2\rho}^{жс} = \frac{\rho_{zp} V_k N_k (0,6...0,86)}{4a} \left[F_\rho \sin \alpha - \frac{8\pi a}{3} \left[\begin{aligned} & j_1 h_{\rho_1}^2 (0,15 D_{k_1}^2 - h_{\rho_1}) + \\ & + j_2 h_{\rho_2}^2 (0,15 D_{k_2}^2 - h_{\rho_2}) + \\ & + ... + j_n h_{\rho_n}^2 (0,15 D_{k_n}^2 - h_{\rho_n}) \end{aligned} \right] \right]. \quad (5.7)$$

1.2. Визначають масу коренеплодів, які викопуються АВТОКРО за 1 с для відповідних формалізованих просторових форм коренеплодів, (рис. 1.Д.1.1а, додаток Д.1.1) за формулою:

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.Д. 1.1а додатка Д.1.1

$$M_{2k}^a = \frac{0,95\pi}{3} \rho_k V_k \left[j_1 h_{c_1} (0,75 D_{k_1}^2 - h_{c_1}^2) + j_1 \frac{2(L_{k_1} - h_{c_1})^3}{k} + \right. \\ \left. + j_2 h_{c_2} (0,75 D_{k_2}^2 - h_{c_2}^2) + j_2 \frac{2(L_{k_2} - h_{c_2})^3}{k} + \dots + \right. \\ \left. + j_n h_{c_n} (0,75 D_{k_n}^2 - h_{c_n}^2) + j_n \frac{2(L_{k_n} - h_{c_n})^3}{k} \right]; \quad (5.8)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.д. 1.1б додатка д.1.1

$$M_{2k}^b = \frac{0,95\pi}{3} \rho_k V_k \left[j_1 h_{c_1} (0,5 D_{k_1}^2 - h_{c_1}^2) + j_1 0,25 D_{k_1}^2 L_{k_1} + \right. \\ \left. + j_2 h_{c_2} (0,5 D_{k_2}^2 - h_{c_2}^2) + j_2 0,25 D_{k_2}^2 L_{k_2} + \dots + \right. \\ \left. + j_n h_{c_n} (0,5 D_{k_n}^2 - h_{c_n}^2) + j_n 0,25 D_{k_n}^2 L_{k_n} \right]; \quad (5.9)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.Д. 1.1в додатка Д.1.1

$$M_{2k}^c = \frac{0,95\pi}{3} \rho_k V_k \left[j_1 h_{c_1} (0,75 D_{k_1}^2 - h_{c_1}^2) + 0,25 j_1 (L_{k_1} - h_{c_1} - h_{\rho.k_1}) \times \right. \\ \left. \times (D_{k_1}^2 + D_{k_1}'^2 + D_{k_1} D_{k_1}') + j_1 0,25 D_{k_1}'^2 h_{\rho.k_1} + j_2 h_{c_2} (0,75 D_{k_2}^2 - h_{c_2}^2) + \right. \\ \left. + 0,25 j_2 (L_{k_2} - h_{c_2} - h_{\rho.k_2}) (D_{k_2}^2 + D_{k_2}'^2 + D_{k_2} D_{k_2}') + \right. \\ \left. + 0,25 j_2 D_{k_2}'^2 h_{\rho.k_2} + \dots + j_n h_{c_n} (0,75 D_{k_n}^2 - h_{c_n}^2) + \right. \\ \left. + 0,25 j_n (L_{k_n} - h_{c_n} - h_{\rho.k_n}) \times \right. \\ \left. \times (D_{k_n}^2 + D_{k_n}'^2 + D_{k_n} D_{k_n}') + 0,25 j_n D_{k_n}'^2 h_{\rho.k_n} \right]; \quad (5.10)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.Д. 1.1г додатка Д.1.1

$$M_{2k}^e = \frac{0,95\pi}{3} \rho_k V_k \left[\begin{aligned} &0,25 j_1 D_{k_1}^2 (3L_{k_1} - 2h_{\rho.k_1}) - j_1 h_{c_1}^3 + \\ &+ 0,25 j_2 D_{k_2}^2 (3L_{k_2} - 2h_{\rho.k_2}) - j_2 h_{c_2}^3 + \dots + \\ &+ 0,25 j_n D_{k_n}^2 (3L_{k_n} - 2h_{\rho.k_n}) - j_n h_{c_n}^3 \end{aligned} \right]; \quad (5.11)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.д. 1.1д додатка д.1.1

$$M_{2k}^o = \frac{0,95\pi}{3} \rho_k V_k \left[\begin{aligned} &0,75 j_1 D_{k_1}^2 (L_{k_1} - h_{\rho.n_1}) - j_1 (h_{c_1}^3 + 2h_{\rho.n_1}^3) + 0,75 j_2 D_{k_2}^2 \times \\ &\times (L_{k_2} - h_{\rho.n_2}) - j_2 (h_{c_2}^3 + 2h_{\rho.n_2}^3) + \dots + 0,75 j_n D_{k_n}^2 \times \\ &\times (L_{k_n} - h_{\rho.n_n}) - j_n (h_{c_n}^3 + 2h_{\rho.n_n}^3) \end{aligned} \right]; \quad (5.12)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають просторову форму, що наведено на рис. 1.д. 1.1ж додатка д.1.1

$$M_{2k}^{жс} = \frac{0,95\pi}{6} \rho_k V_k (j_1 D_{k_1}^3 + j_2 D_{k_2}^3 + \dots + j_n D_{k_n}^3). \quad (5.13)$$

2. У загальному обчислюють масу коренеплодів m_k і масу налиплого ґрунту m_{gp} на поверхні тіла коренеплоду для його узагальненої формалізованої форми, яку наведено на рис. 5.1.

Збирання різних видів культур коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М все ще залишається досить складною та найбільш трудомісткою операцією в технологічному процесі виробництва цих цінних сільськогосподарських культур. Велика різноманітність, за своїм призначенням, конструктивних схем ВРО і ОРО ТТС КМ у прямій залежності пов'язана, як із конструктивно-технологічними процесами викопування, так і, з відповідними вимогами до якості очищення коренеплодів від домішок.

Одними з залежних технологічних операцій збирання коренеплодів, на які мають безпосередній вплив агробіологічні характеристики фізико-механічних параметрів коренеплодів, є операції викопування та відокремлення домішок від коренеплодів із складу поступаючого вороху.

Розмірно-масові характеристики основних параметрів коренеплодів

безпосередньо в полі є випадковими і коливаються в певних межах, що є вирішальним при вирішенні задач аналізу і синтезу основних робочих органів бурякозбиральних машин в цілому. Фізико-механічні характеристики коренеплодів, як елемента системи «машина-робочий орган-коренеплід», необхідно враховувати при проектуванні АВТОКРО і АТОКРО в вигляді сукупності різних фізико-механічних властивостей, які є визначальними при можливих механічних діях на об'єкт обробки, їх допустимий рівень і діапазон зміни параметрів робочих органів ТТС АКМ. З точки зору синтезу робочих органів для викопування та очищення коренеплодів від домішок, а особливо очищення від налиплого на їх поверхні ґрунту, необхідно мати наукову уяву про такі характеристики фізичного стану коренеплоду, як можливість прогнозування ймовірної маси коренеплодів та маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду в початковий і кінцевий стадії викопування залежно від його розмірних характеристик та фізичного стану ґрунту [1].

Обґрунтування раціональних типів викопувальних і очисних робочих органів і структури відповідних технологічно-компонувальних схем ТТС АКМ може бути виконано на основі математичного моделювання, або прогнозування вірогідних характеристик основних параметрів коренеплодів з врахуванням множини зовнішніх умов протікання технологічного процесу викопування та очищення тіла коренеплоду від налиплого ґрунту [1].

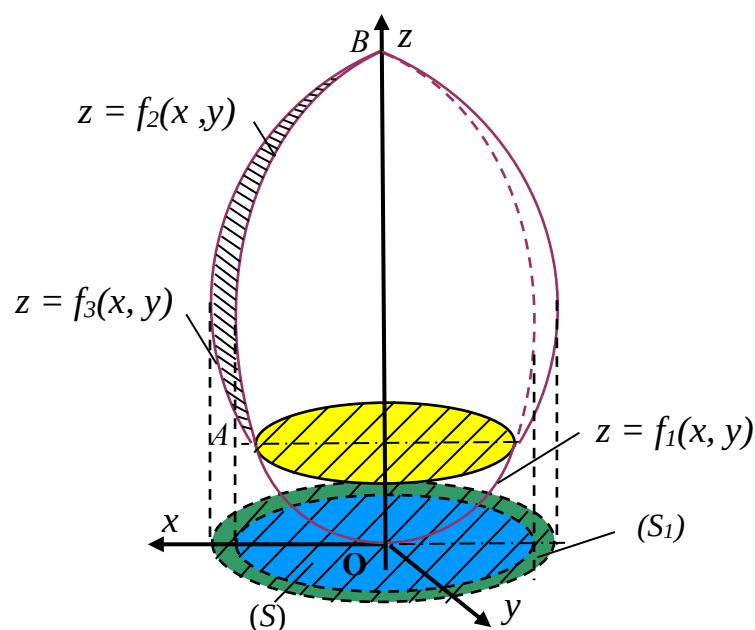


Рис. 5.1. Формалізована форма коренеплоду

Для побудови математичної моделі взаємозв'язку прогнозування ймовірної маси коренеплодів та маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів залежно від їх агрофізичних характеристик і фізичного стану ґрунту при формалізації опису вірогідної форми поверхні коренеплоду і початкових умов його викопування (рис. 5.1) були прийняті такі припущення [255]:

- поверхня коренеплоду утворена обертанням кривих AB і AO навколо осі Oz , при цьому верхня частина коренеплоду утворена обертанням кривої $AB : (z = f_2(x, y))$, а нижня частина – обертанням кривої $AO : (z = f_1(x, y))$;

- головка коренеплоду має форму зрізаної півсфери AOC , при цьому радіус кола OO_1 півсфери дорівнює радіусу головки коренеплоду R_k , висота зрізаного сферичного шару – h_c , а радіус кола зрізаної частини півсфери – R_c ;

- зовнішня поверхня шару налиплого ґрунту представлена як поверхня обертання кривої $DE : (z = f_3(x, y))$, при цьому товщина шару налиплого ґрунту δ розподілена рівнозначно (однаково) по всій зовнішній DEK та внутрішній A_1BC_1 поверхнях, тобто рівнозначна пустотілому об'ємному тілу, висота якого дорівнює $H_1 + \Delta H_{ep}$, а товщина стінки – δ .

Згідно з [201] маса тіла, яка обмежена об'ємом V , визначається за формулою

$$M_k = V_k \rho_k; \quad m_{ep} = V_{n.ep} \rho_{ep}, \quad (5.14)$$

де M_k , m_{ep} – маса коренеплоду та маса налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду, г;

V_k , $V_{n.ep}$ – об'єм тіла коренеплоду та об'єм налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду, см³.

Нехай V_k об'єм коренеплоду, поверхня якого утворена обертанням кривих $AB : (z = f_2(x, y))$ і $AO : (z = f_1(x, y))$ навколо осі Oz , а область S є проекцією замкнутої кривої поверхні коренеплоду на площину xOy (рис. 5.1), тобто в цьому випадку V_k є об'ємним тілом, яке обмежене знизу поверхнею $z = f_2(x, y)$, а зверху – поверхнею $z = f_1(x, y)$ [201].

Тоді, згідно [201] об'єм коренеплоду V_k можна обчислити за формулою потрійних інтегралів, які інтегруванням по осі z зводяться до подвійних інтегралів по області S , тобто

$$V_k = \iiint_{(V_k)} f(x, y, z) dx dy dz = \iint_{(S)} dx dy \int_{f_1(x, y)}^{f_2(x, y)} f(x, y, z) dz, \quad (5.15)$$

де V_k – об'єм коренеплоду, см^3 .

Якщо просторова область тіла об'ємом V_k заповнена питомою густиною коренеплоду, яка задана функцією $\rho_k(x, y, z)$, тоді маса коренеплоду M_k згідно [181] та (5.14) буде дорівнювати

$$M_k = \iiint_{(V_k)} \rho_k(x, y, z) dx dy dz = \iint_{(S)} dx dy \int_{f_1(x, y)}^{f_2(x, y)} \rho_k(x, y, z) dz, \quad (5.16)$$

Нехай рівняння кривих AB верхньої внутрішньої та нижньої AO частин поверхонь коренеплоду задані відповідними залежностями

$$\left. \begin{aligned} AB : \quad z &= f_2(\sqrt{x^2 + y^2}); \\ AO : \quad z &= f_1(\sqrt{x^2 + y^2}). \end{aligned} \right\} \quad (5.17)$$

Тоді, згідно наведених рівнянь (5.15), (5.16) і (5.17) об'єм коренеплоду V_k та відповідно маса коренеплоду M_k , визначаються за залежностями [254]

$$\left. \begin{aligned} V_k &= \iint_{(S)} dx dy \int_{f_1(\sqrt{x^2 + y^2})}^{f_2(\sqrt{x^2 + y^2})} dz; \\ M_k &= \iint_{(S)} dx dy \int_{f_1(\sqrt{x^2 + y^2})}^{f_2(\sqrt{x^2 + y^2})} \rho_k(x, y, z) dz. \end{aligned} \right\} \quad (5.18)$$

Для визначення ймовірної маси коренеплоду та маси налиплого ґрунту m_{ep} на поверхні тіла коренеплоду в початковий момент його викопування,

тобто при цьому $t_k = 0$, де t_k – час викопування коренеплоду, будемо вважати, що просторове тіло коренеплоду заповнене питомою масою, яка задана функцією $\rho_k(x, y, z)$, а ґрунт, який розподілений рівномірно по його зовнішній поверхні AB , заповнює просторову область питомою масою, яка задана функцією $\rho_{zp}(x, y, z)$ [201].

Нехай рівняння кривої AB зовнішньої поверхні шару налиплого ґрунту задано підінтегральною функцією

$$AB: z = f_3\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right). \quad (5.19)$$

Тоді, з врахуванням залежностей (5.5), маса налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду буде визначатися

$$m_{zp} = \iiint_{(V_{n.zp})} \rho_{zp}(x, y, z) dx dy dz, \quad (5.20)$$

При цьому, інтегруванням функції $\rho_{zp}(x, y, z)$ по z потрібний інтеграл зводиться до подвійного інтегралу по області S_1 [201]

$$m_{zp} = \iint_{(S_1)} dx dy \int_{f_2\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right)}^{f_3\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right)} \rho_{zp}(x, y, z) dz. \quad (5.21)$$

Об'єм маси налиплого ґрунту V_{zp} на поверхні тіла коренеплоду визначимо шляхом визначення елемента об'єму J в криволінійних координатах, застосовуючи властивості заміни перемінних в потрібних інтегралах [201]

$$J = \frac{\partial(x, y, z)}{\partial(u, v, w)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial x}{\partial v} & \frac{\partial x}{\partial w} \\ \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial v} & \frac{\partial y}{\partial w} \\ \frac{\partial z}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial v} & \frac{\partial z}{\partial w} \end{vmatrix} \neq 0, \quad (5.22)$$

при цьому вважаємо, що за допомогою заданих функції поверхні об'єму в параметричному вигляді $x = x(u, v, w)$, $y = y(u, v, w)$, $z = z(u, v, w)$ відбувається взаємно однозначне відтворення області S простору u, v, w , яка обмежена кусково-гладенькими поверхнями, на область V_k простору x, y, z .

Якщо ці три функції безперервні в області S , тоді для кожної функції справедлива формула

$$\iiint_{(V_k)} f(x, y, z) dx dy dz = \iiint_{(S)} f(x(u, v, w), y(u, v, w), z(u, v, w)) |J| du dv dw. \quad (5.23)$$

Для побудови математичної моделі, яка характеризує залежність зміни маси коренеплоду M_k та маси налиплого ґрунту m_{zp} на поверхні тіла коренеплоду від його агрофізичних характеристик, розглянемо складену розрахункову еквівалентну схему коренеплоду (рис. 5.2.), яка характерна для форми ЦБ і КБ.

Згідно рис. 5.2 маса налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду, який являє собою поверхні, що утворені обертанням кривих AB , DE і AO навколо осі z , дорівнює різниці мас фізичних тіл $m_{1(V_1)}$ і $m_{2(V_2)}$, які утворені відповідними об'ємами V_1 і V_2 , або різниці об'ємів V_1 і V_2 , яка заповнена масою з питомою густиною $\rho_{zp}(x, y, z)$, тобто [257].

$$m_{zp} = m_{1(V_1)} - m_{2(V_2)} = \rho_{zp}(V_1 - V_2), \quad (5.24)$$

або згідно (5.7) можна записати

$$m_{zp} = \rho_{zp} \left(\iiint_{V_1} dV_1 - \iiint_{V_2} dV_2 \right). \quad (5.25)$$

Нехай P_1 і P_2 є відповідними проекціями замкнутих об'ємів тіл V_1 і V_2 на площину xOy , які обмежені відповідними кривими AB , DE і AO , при цьому

$$\frac{H_1}{r_{KH}} = \frac{H_k}{R_k}; \quad r_{KH} = \frac{H_1 R_k}{H_k}, \quad (5.26)$$

де H_1 – висота основи тіла поверхні налиплого ґрунту, см;

r_{kh} – радіус основи тіла поверхні налиплого ґрунту, см;

H_k – висота тіла коренеплоду, см;

R_k – радіус тіла коренеплоду, см.

Тоді, згідно наведеного рис. 5.15. і отриманих залежностей (5.17), (5.19) і (5.26) встановлюємо задані підінтегральні функції кривих AB , DE і AO та їх межі інтегрування

$$\left. \begin{aligned} AB: \quad z - R_k &= -\frac{H_k}{R_k}(x - R_k); \\ f_2: \quad z - R_k &= \frac{H_k}{R_k}(\sqrt{x^2 + y^2}) - R_k \end{aligned} \right\}; \quad (5.27)$$

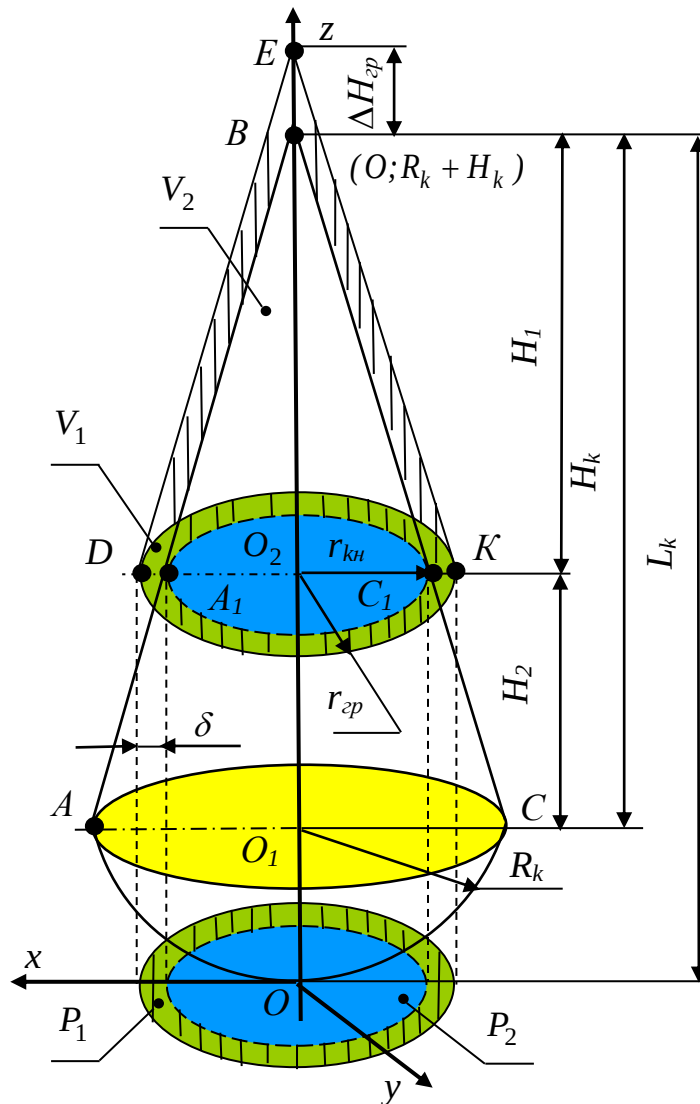


Рис. 5.2. Схема до визначення маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду

$$\left. \begin{aligned} CD: \quad z - (R_k + H_k - H_1) &= -\frac{H_k}{R_k} \left(\sqrt{x^2 + y^2} - R_k \right); \\ f_3: \quad z - (R_k + H_k - H_1) &= -\frac{H_k}{R_k} \left(\sqrt{x^2 + y^2} - \frac{H_1 R_k}{H_k} - \delta \right) \end{aligned} \right\}; \quad (5.28)$$

$$\left. \begin{aligned} AO: \quad x^2 + (z - R_k)^2 &= R_k^2; \\ f_1: \quad z^2 + y^2 + (z - R_k)^2 &= R_k^2 \end{aligned} \right\}, \quad (5.29)$$

де δ – товщина шару налиплого ґрунту, см

Визначимо об'єм кожного з тіл V_1 і V_2 згідно залежностей (5.21), (5.27)-(5.29)

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \iint_{P_1} dx dy \int_{R_k + H_k - H_1}^{(R_k + H_k - H_1) - \frac{H_k}{R_k} \left(\sqrt{x^2 + y^2} - \frac{H_1 R_k}{H_k} - \delta \right)} dz; \\ V_2 &= \iint_{P_2} dx dy \int_{R_k - \frac{H_k}{R_k} \left(\sqrt{x^2 + y^2} - R_k \right)}^{(R_k + H_k - H_1) - \frac{H_k}{R_k} \left(\sqrt{x^2 + y^2} - \frac{H_1 R_k}{H_k} - \delta \right)} dz \end{aligned} \right\}. \quad (5.30)$$

Тому, що проєкції областей P_1 і P_2 площини x, y визначені відповідними нерівностями $0 \leq x \leq 2\pi$; $\frac{H_1 R_k}{H_k} \leq y \leq \frac{H_1 R_k}{H_k} + \delta$ і $0 \leq x \leq 2\pi$; $0 \leq y \leq \frac{H_1 R_k}{H_k} + \delta$ та згідно властивостей потрібних інтегралів і введенням циліндричних координат [201] та з врахуванням залежностей (5.22)-(5.25) і (5.307), одержимо [256]

$$m_{zp} = \rho_{zp} \left(\begin{aligned} &\int_0^{2\pi} d\varphi \int_{\frac{H_1 R_k}{H_k}}^{\frac{H_1 R_k}{H_k} + \delta} \rho d\rho \int_{R_k + H_k - H_1}^{(R_k + H_k - H_1) - \frac{H_k}{R_k} \rho + H_1 + \frac{H_k}{R_k} \delta} dz - \\ &- \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\frac{H_1 R_k}{H_k} + \delta} \rho d\rho \int_{R_k - \frac{H_k}{R_k} \rho + H_k}^{R_k + H_k + \frac{H_k}{R_k} \delta - \frac{H_k}{R_k} \rho} dz \end{aligned} \right). \quad (5.31)$$

Після спрощення виразу (5.31) одержимо

$$m_{zp} = 2\pi\rho_{zp} \left[\int_{\frac{H_1 R_k}{H_k}}^{\frac{H_1 R_k}{H_k} + \delta} \left(H_1 + \frac{H_k}{R_k} \delta - \frac{H_k}{R_k} \rho \right) \rho d\rho - \int_0^{\frac{H_1 R_k}{H_k} + \delta} \frac{H_k}{R_k} \delta \cdot \rho d\rho \right]. \quad (5.32)$$

Однак, одержана залежність (5.32) маси налиплого ґрунту m_{zp} на поверхні тіла коренеплодів буде справедлива тільки для випадку, коли питома маса ґрунту ρ_{zp} приймає одне конкретне значення, тобто $\rho_{zp} = const$, що не відповідає дійсності, тому що питома маса ґрунту ρ_{zp} змінюється в певних межах і приймає певне значення залежно від типу і вологості наявного шару ґрунту [1], що призводить до відповідної неоднозначності m_{zp} одних і тих же розмірно-масових параметрів коренеплодів, але різної вологості відповідного шару налиплого ґрунту.

Для встановлення впливу вологості ґрунту на масу налиплого ґрунту m_{zp} на поверхні тіла коренеплодів, у залежність (2.32) введемо поправочний коефіцієнт вологості ґрунту k_W [257, 258], який визначимо як відношення оптимальної вологості W_{on} до діапазону максимально можливих меж зміни вологості ґрунту W_δ при яких коренезбиральна машина може виконувати технологічний процес викопування коренеплодів [229], тобто

$$k_W = W_{on} / W_\delta, \quad (5.33)$$

де k_W – поправочний коефіцієнт вологості ґрунту;

W_{on} – оптимальна вологість ґрунту, %;

W_δ – певне значення вологості ґрунту в заданому її діапазоні, %.

Для зручності користування залежністю (5.32), введемо заміни складових величин R_k і H_k , при цьому згідно з (рис. 5.2) $R_k = 0,5D_k$, де D_k – діаметр головки коренеплоду, (см); $H_k = L_k - 0,5D_k$, де L_k – загальна довжина коренеплоду, (см), а також введемо коефіцієнт відношення $k_{H_1 L_k}$, який

характеризує відношення висоти основи тіла поверхні налиплого ґрунту, яка є, не що інше, як глибина залягання коренеплоду в ґрунті H_1 до загальної довжини коренеплоду L_k , тобто

$$k_{H_1 L_k} = H_1 / L_k. \quad (5.34)$$

Після підстановки коефіцієнтів k_W , $k_{H_1 L_k}$ із (5.33), (5.34) у формулу (5.32) та спрощення виразу отримаємо залежність для визначення m_{zp}

$$m_{zp} = \frac{2\pi\rho_{zp}}{k_W} \left\{ \begin{aligned} & L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k - 1}{D_k} \right)^{-1} + \delta \int \left[L_k k_{H_1 L_k} + \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \delta - \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \rho \right] \rho d\rho - \\ & L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k - 1}{D_k} \right)^{-1} \\ & - \int_0^{L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k - 1}{D_k} \right)^{-1} + \delta} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \delta \cdot \rho d\rho \end{aligned} \right\}. \quad (5.22)$$

Отримана залежність (5.22) є розрахунковою детермінованою математичною моделлю, яка характеризує зміну прогнозування ймовірної маси налиплого ґрунту m_{zp} на складних просторових формах поверхонь тіл коренеплодів на початку їх викопування залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і фізичного стану ґрунту. Після інтегрування виразу (5.22) отримали

$$m_{zp} = \frac{2\pi\rho_{zp}}{k_W} \left\{ \begin{aligned} & L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k - 1}{D_k} \right)^{-1} + \delta \\ & \left[L_k k_{H_1 L_k} + \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \delta \right] \frac{\rho^2}{2} - \\ & L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k - 1}{D_k} \right)^{-1} \\ & L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k - 1}{D_k} \right)^{-1} + \delta \\ & - \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \frac{\rho^3}{3} - \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \delta \cdot \frac{\rho^2}{2} \\ & L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k - 1}{D_k} \right)^{-1} \end{aligned} \right\}. \quad (5.36)$$

Після підстановки відповідних верхніх і нижніх значень меж інтегрування та спрощення виразу (5.36) одержимо

$$m_{\varepsilon p} = \frac{2\pi\rho_{\varepsilon p}}{k_W} \left\{ - \left[\frac{1}{2} \left[L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^{-1} + \delta \right]^2 \left[L_k k_{H_1 L_k} + 2 \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \delta \right] - \right. \right. \\ \left. \left[L_k k_{H_1 L_k} + \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \delta \right] \left[L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^{-1} \right]^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \times \right. \\ \left. \left. \times \left[\left(L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^{-1} + \delta \right)^3 - \left(L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^{-1} \right)^3 \right] \right] \right\}. \quad (5.37)$$

Для подальшого спрощення залежності (5.37) введемо позначення відповідних виразів її складових, тобто

$$\left. \begin{aligned} \eta &= L_k k_{H_1 L_k}; \\ \lambda &= \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \end{aligned} \right\}. \quad (5.38)$$

Після підстановки (5.38) у залежність (5.37) отримаємо

$$m_{\varepsilon p} = \frac{\pi\rho_{\varepsilon p}}{k_W} \left\{ \left(\eta \frac{1}{\lambda} + \delta \right)^2 (\eta + \lambda\delta) - (\eta + 2\lambda\delta) \left(\eta \frac{1}{\lambda} \right)^2 - \frac{2}{3} \lambda \left[\left(\eta \frac{1}{\lambda} + \delta \right)^3 - \left(\eta \frac{1}{\lambda} \right)^3 \right] \right\}. \quad (5.39)$$

Після спрощення виразу (5.39) отримаємо

$$m_{\varepsilon p} = \frac{\pi\rho_{\varepsilon p}}{k_W} \left(\frac{4}{3} \lambda \delta^3 + 3\eta \delta^2 + \frac{\eta^2}{\lambda} \delta \right). \quad (5.40)$$

Таким чином, після підстановки (5.38) у (5.40) кінцева залежність зміни прогнозування ймовірної маси налиплого ґрунту $m_{\varepsilon p}$ на поверхні тіла коренеплодів в початковий момент їх викопування від їх розмірних характеристик і фізичного стану ґрунту відповідно має вигляд:

$$m_{ep} = \frac{\pi \rho_{ep}}{k_W} \left[\frac{4}{3} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \delta^3 + 3L_k k_{H_1 L_k} \delta^2 + L_k^2 k_{H_1 L_k}^2 \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^{-1} \delta \right]; \quad (5.41)$$

Залежність (5.41) є детермінованою математичною моделлю, яка характеризує зміну прогнозування ймовірної маси налиплого ґрунту m_{ep} на просторових формах поверхонь тіл коренеплодів на початку їх викопування залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і фізичного стану ґрунту.

На рис. 1.Д.2.1, 2.Д.2.1 додатка Д.2.1 наведено поверхні та їх двомірні перерізи залежностей зміни прогнозування ймовірної маси налиплого ґрунту m_{ep} на поверхні тіла коренеплодів у початковий момент їх викопування залежно від розмірних характеристик коренеплодів і фізичного стану ґрунту при $\rho_{ep} = 1,5 \text{ г/см}^3$, які побудовано за допомогою пакету прикладних програм Mathcad 2000 згідно залежності (5.41), тобто $m_{ep} = f(L_k, D_k)$, а максимум наведених функції досягається при $k_{H_1 L_k} \rightarrow \max$, $k_W \rightarrow \min$, тобто відповідно при $k_{H_1 L_k} = 1$ і $k_W = 0,7$ ($W_{ep} = 27 \%$) та обмежених значеннях інших складових залежності (5.41).

Аналіз залежності (рис. 1.Д.2.1, рис. 2.Д.2.1 додатка Д.2.1) та поверхонь відгуку і їх двомірних перерізів показує, що з збільшенням коефіцієнта відношення $k_{H_1 L_k}$ (глибини залягання коренеплодів у ґрунті H_1) та товщини шару налиплого ґрунту δ , прогнозована ймовірна маса налиплого ґрунту m_{ep} зростає, причому зміна залежності $m_{ep} = f(k_{H_1 L_k})$ має характер раціональної функції другого порядку, а зміна залежності $m_{ep} = f(\delta)$ відбувається за кубічною функцією. Інтенсивність прогнозування значного приросту m_{ep} настає при значеннях $k_{H_1 L_k} > 0,5$; $\delta > 0,5 \text{ см}$ і прогнозовано буде становити $m_{ep.\max} \approx 0,8 \text{ кг}$ при значенні $k_{H_1 L_k} = 1 = \max$ і $\delta = 0,7 \text{ см}$ при оптимальній вологості ґрунту ($k_W = 1$) для $L_k = 20 \text{ см}$, $D_k = 15 \text{ см}$, що характерно для коренеплодів ЦБ і М, які залягають повністю у ґрунті на довжину L_k . Даний

висновок підтверджується також аналізом залежностей, які наведено на рис. 3.Д.2.1 та рис. 4.Д.2.1 додатка Д.2.1.

Відповідно, при збільшенні числового значення коефіцієнта вологості ґрунту k_w , або відповідного зменшення вологості ґрунту W_{zp} , прогнозована ймовірна маса налиплого ґрунту $m_{zp} = f(k_w)$ зменшується (рис. 2.Д.2.1 додатка Д.2.1) за зворотно-пропорційною функцією, причому інтенсивність прогнозованого її зменшення настає при значеннях $k_w > 0,8$, що відповідає вологості ґрунту 21 % і прогнозовано буде становити $m_{zp.max} \approx 0,8$ кг при максимальному значенні $k_{H_1L_k} = 1$ і $k_w = 0,7$ ($W_{zp} = 27$ %), що характерно для залежностей, які наведені на рис. 5.Д.2.1 додатка Д.2.1.

Нижнє значення критерію k_w оптимальності максимуму функції обмежене функціональною можливістю виконання технологічного процесу роботи КМ згідно вихідних вимог [228].

Для середніх значень розмірних характеристик коренеплодів КБ – загальної довжини $L_k = 20$ см, діаметра $D_k = 15$ см прогнозоване максимальне значення маси налиплого ґрунту буде становити $m_{zp.max} \cong 0,2...0,4$ кг при $k_{H_1L_k} = 0,5$; $\delta = 0,5$ см і $k_w = 1$ (при оптимальній вологості ґрунту $W_{zp} = 19$ %).

Отримані залежності (5.40), (5.41) є рівняннями третьої степені відносно товщини шару налиплого ґрунту δ на поверхні тіла коренеплодів [259, 260]

$$\frac{\pi \rho_{zp}}{k_w} \left(\frac{4}{3} \lambda \delta^3 + 3 \eta \delta^2 + \frac{\eta^2}{\lambda} \delta \right) - m_{zp} = 0. \quad (5.42)$$

Позначимо відношення $\pi \rho_{zp} / k_w = \varepsilon$ таведемо залежність (5.42) спочатку до канонічного вигляду, поділивши кожен член залежності (5.42) на вираз $\frac{4}{3} \varepsilon \lambda$

$$\delta^3 + \frac{9\eta}{4\lambda} \delta^2 + \frac{3\eta^2}{4\lambda^2} \delta - \frac{3m_{zp}}{4\varepsilon\lambda} = 0. \quad (5.43)$$

Далі, позначимо у рівнянні (5.43) $r = \frac{9\eta}{4\lambda}$; $s = \frac{3\eta^2}{4\lambda^2}$; $t = -\frac{3m_{\varepsilon p}}{4\varepsilon\lambda}$ та зробимо

у рівнянні (5.43) заміну невідомого $y = \delta + (r/3)$, при цьому канонічний вигляд рівняння приводимо до приведенного рівняння шляхом заміни $\delta = y - (r/3)$ згідно з [201].

При цьому, відповідно, одержимо

$$\left. \begin{aligned} \delta^3 + r\delta^2 + s\delta + t &= 0; \\ y^3 + py + q &= 0; \\ p &= -\frac{15\eta^2}{16\lambda^2}; \quad q = \frac{9\eta^3}{32\lambda^3} - \frac{3m_{\varepsilon p}}{4\varepsilon\lambda} \end{aligned} \right\}. \quad (5.44)$$

Визначимо дискримінант D приведенного кубічного рівняння (5.44), при цьому $D = (p/3)^3 + (q/2)^2 = \frac{1}{27} \left(\frac{9\eta^3}{32\lambda^3} - \frac{3m_{\varepsilon p}}{4\varepsilon\lambda} \right)^2 - 0,25 \left(\frac{15\eta^3}{16\lambda^3} \right)^3 > 0$, тобто в цьому випадку рівняння має одне дійсне рішення невідомого y .

Приведене кубічне рівняння (5.44) вирішимо застосовуючи формулу Кардано [201] і враховуючи, що дискримінант приведенного кубічного рівняння $D > 0$, отримаємо одне дійсне рішення, тобто

$$\begin{aligned} y = & \sqrt[3]{\frac{3m_{\varepsilon p}}{8\varepsilon\lambda} - \frac{9\eta^3}{64\lambda^3}} + \sqrt{0,25 \left(\frac{9\eta^3}{32\lambda^3} - \frac{3m_{\varepsilon p}}{4\varepsilon\lambda} \right)^2 - \left(\frac{5\eta^3}{16\lambda^3} \right)^3} + \\ & + \sqrt[3]{\frac{3m_{\varepsilon p}}{8\varepsilon\lambda} - \frac{9\eta^3}{64\lambda^3}} - \sqrt{0,25 \left(\frac{9\eta^3}{32\lambda^3} - \frac{3m_{\varepsilon p}}{4\varepsilon\lambda} \right)^2 - \left(\frac{5\eta^3}{16\lambda^3} \right)^3}. \end{aligned} \quad (5.45)$$

Шляхом зворотної підстановки виразу $\delta = y - (r/3)$ у рівність (5.30) і з врахуванням (5.45) та спрощення виразу визначимо прогнозовану ймовірну товщину шару налиплого ґрунту δ на поверхні тіла коренеплоду в початковий момент його викопування:

$$\delta = 0,25\lambda^3 \sqrt[3]{\frac{1}{\varepsilon\sqrt{\lambda}}} \left(\sqrt[3]{24m_{\varepsilon p}\lambda^2 - 9\eta^2\varepsilon + 0,5\sqrt{4\lambda^3(9\eta^3\varepsilon - 24m_{\varepsilon p}\lambda^2)^2 - (5\eta^3)^3\varepsilon^2}} + \sqrt[3]{24m_{\varepsilon p}\lambda^2 - 9\eta^2\varepsilon - 0,5\sqrt{4\lambda^3(9\eta^3\varepsilon - 24m_{\varepsilon p}\lambda^2)^2 - (5\eta^3)^3\varepsilon^2}} \right) - \frac{3\eta}{4\lambda}. \quad (5.46)$$

Після підстановки (5.38) в рівність (5.46) отримаємо математичну модель, яка характеризує взаємозв'язок δ на поверхні тіла коренеплодів залежно від їх агробіологічних характеристик і фізичного стану ґрунту:

$$\delta = 0,25 \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right) \sqrt[3]{\frac{k_W}{\pi\rho_{\varepsilon p} \sqrt{\left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)}}} \times \left(\sqrt[3]{24m_{\varepsilon p} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^2 - 9 \frac{L_k^2 k_{H_1 L_k}^2 k_W}{\pi\rho_{\varepsilon p}} + 4 \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^3 \left[9 \frac{L_k^3 k_{H_1 L_k}^3 k_W}{\pi\rho_{\varepsilon p}} - 24m_{\varepsilon p} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^2 \right]^2} + 0,5 \sqrt[3]{- \left(5L_k^3 k_{H_1 L_k}^3 \right)^3 \left(\frac{k_W}{\pi\rho_{\varepsilon p}} \right)^2} \right) - \left(\sqrt[3]{24m_{\varepsilon p} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^2 - 9 \frac{L_k^2 k_{H_1 L_k}^2 k_W}{\pi\rho_{\varepsilon p}} - 4 \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^3 \left[9 \frac{L_k^3 k_{H_1 L_k}^3 k_W}{\pi\rho_{\varepsilon p}} - 24m_{\varepsilon p} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^2 \right]^2} - 0,5 \sqrt[3]{- \left(5L_k^3 k_{H_1 L_k}^3 \right)^3 \left(\frac{k_W}{\pi\rho_{\varepsilon p}} \right)^2} \right) - \frac{3}{4} L_k k_{H_1 L_k} \left(\frac{2L_k}{D_k} - 1 \right)^{-1} \quad (5.47)$$

Аналіз поверхні та її двовірного перерізу залежності зміни товщини шару налиплого ґрунту δ (рис. 6.Д.2.1 додатка Д.2.1) показує, що при збільшенні коефіцієнта співвідношення $k_{H_1 L_k}$ зміна ймовірної товщини шару налиплого

грунту δ має неоднозначний характер і в значній мірі залежить від розмірних характеристик коренеплодів, або маси налиплого ґрунту на їх поверхнях – у деякий початковий момент δ поступово збільшується від 0,4 до 1,0 см у межах зміни коефіцієнта співвідношення $0,4 \leq k_{H_1 L_k} \leq 0,8$, причому характер приросту протікає неоднозначно для різних значень маси налиплого ґрунту m_{ep} і знаходиться в межах 0,03...0,3 см. Подальше збільшення $k_{H_1 L_k}$ від 0,7 до 1,0, або збільшення глибини залягання коренеплодів призводить до значного, в середньому на 0,4...0,6 (см) зменшення δ з подальшою її відносною стабілізацією в межах 0,1...0,25 (см).

Таким чином, використовуючи розроблені моделі (5.41, 5.47) визначають прогнозовано масу налиплого ґрунту та ймовірну товщину шару налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів та залежно від їх параметрів з урахуванням експериментальних досліджень цих показників [261].

Агробіологічні характеристики коренеплодів, як елемента діючої моделюючої системи «машина-робочий орган-коренеплід» є одними із визначальних вихідних показників при оптимізації технологічних процесів і конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів ТТС КМ [1].

Важливою ланкою попередніх розрахунків пропускної здатності робочих органів ТТС КМ є секундна подача викопаного вороху на їх робочі поверхні, яка регламентує методи та методику оптимізації основних технологічно-конструктивних параметрів КМ [14, 18]. Одним із вирішальних критеріїв оцінки секундної подачі викопаного вороху є масова подача викопаних коренеплодів, яка в загальному випадку складається з маси коренеплодів і маси налиплого ґрунту на їх поверхнях.

Вихідними даними для проведення оптимізації конструктивно-кінематичних параметрів ТТС КМ, критерії якої полягають у дослідженні масової подачі коренеплодів є безпосередній аналіз маси коренеплодів і маси налиплого ґрунту на їх просторових тілах. Дані дослідження можливо виконати тільки на основі попереднього обґрунтування формалізованих форм коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М з застосуванням положень аналітичної геометрії.

На рис. 1.Д.1.1 додатка Д.1.1 наведено основні просторові формалізовані форми коренеплодів ЦБ, КБ, СБ і М, які обґрунтовано на основі проведених наукових спостережень дорослих рослин основних сортів і аналізу відомих досліджень, присвячених вивченню їх агробіологічних характеристик.

3. Уточнюють масу коренеплодів M_k і масу налиплого ґрунту $m_{н.зр}$ на поверхні тіла конкретизованих формалізованих форм коренеплодів (додаток Д.1.1).

Залежно від формалізованої просторової форми складовими частинами i -го коренеплоду можуть бути його головка об'ємом V_{k1}^i , яка являє собою зрізану напівкулю (рис. 1. Д.1.1а-д додатка Д.1.1), тіло коренеплоду об'ємом V_{k2}^i , яке являє собою параболоїд обертання, утворений обертанням параболу $z = y^2 / l_k$, що лежить у площині Oxz навколо осі Oz (рис. рис. 1. Д.1.1а додатка Д.1.1) або формалізованих у формі просторових геометричних тіл (рис. рис. 1. Д.1.1б-ж додатка Д.1.1) та хвостової частини коренеплоду об'ємом V_{k3}^i , яка ідентична тілам коренеплодів і являє собою також просторові геометричні тіла (рис. рис. 1. Д.1.1в-д додатка Д.1.1).

У загальному випадку маса коренеплоду M_k та налиплого ґрунту $m_{н.зр}$ на його поверхні визначаються за залежностями [201]

$$\left. \begin{aligned} M_k &= \rho_k V_k = \pi \int_a^b \rho_k(z) [f(z)]^2 dz; \\ m_{н.зр} &= \rho_{зр} V_{н.зр} = \rho_{зр} S_{н.зр} \delta = 2\pi \int_a^b \rho_{зр}(z) \delta(z) f(z) \sqrt{1 + [f'(z)]^2} dz \end{aligned} \right\}, \quad (5.48)$$

де $S_{н.зр}$ – бічна площа поверхні тіла коренеплоду, на якій знаходиться налиплий ґрунт, см^2 .

Згідно з рис. 1. Д.1.1 додатка Д.1.1 об'єм і бічна площа поверхні налип-

лого ґрунту i -го коренеплоду відповідної просторової форми дорівнює сумі об'ємів і бічних площ поверхонь його складових частин: головки, тіла та хвостової частин

$$\begin{aligned} V_k^i &= \sum_{j=1}^n V_{kj}^i = V_{k_1}^i + V_{k_2}^i + \dots + V_{k_n}^i; \\ S_{н.зр}^i &= \sum_{j=1}^n S_{н.зрj}^i = S_{н.зр1}^i + S_{н.зр2}^i + \dots + S_{н.зрn}^i. \end{aligned} \quad (5.49)$$

Таким чином, об'єм коренеплоду V_k^a (рис. 1. Д.1.1а додатка Д.1.1) дорівнює суми об'ємів головки $V_{k_1}^a$ та тіла коренеплоду $V_{k_2}^a$, тобто $V_k^a = V_{k_1}^a + V_{k_2}^a$, відповідно об'єми коренеплодів, формалізовані просторові форми яких наведено на рис. 1. Д.1.1б-д додатка Д.1.1: $V_k^{\bar{b}} = V_{k_1}^{\bar{b}} + V_{k_2}^{\bar{b}}$; $V_k^{\bar{e}} = V_{k_1}^{\bar{e}} + V_{k_2}^{\bar{e}} + V_{k_3}^{\bar{e}}$; $V_k^{\bar{z}} = V_{k_1}^{\bar{z}} + V_{k_2}^{\bar{z}} + V_{k_3}^{\bar{z}}$; $V_k^{\bar{d}} = V_{k_1}^{\bar{d}} + V_{k_2}^{\bar{d}} + V_{k_3}^{\bar{d}}$.

Позначимо також об'єм коренеплоду (рис. 1. Д.1.1ж додатка Д.1.1) через $V_k^{\mathcal{H}}$.

Тоді згідно (2.48), (2.49) у загальному випадку маємо

$$\left. \begin{aligned} M_k^a &= M_{k_1}^a + M_{k_2}^a = \rho_k \left(V_{k_1}^a + V_{k_2}^a \right); \\ M_k^{\bar{b}} &= M_{k_1}^{\bar{b}} + M_{k_2}^{\bar{b}} = \rho_k \left(V_{k_1}^{\bar{b}} + V_{k_2}^{\bar{b}} \right); \\ M_k^{\bar{e}} &= M_{k_1}^{\bar{e}} + M_{k_2}^{\bar{e}} + M_{k_3}^{\bar{e}} = \rho_k \left(V_{k_1}^{\bar{e}} + V_{k_2}^{\bar{e}} + V_{k_3}^{\bar{e}} \right); \\ M_k^{\bar{z}} &= M_{k_1}^{\bar{z}} + M_{k_2}^{\bar{z}} + M_{k_3}^{\bar{z}} = \rho_k \left(V_{k_1}^{\bar{z}} + V_{k_2}^{\bar{z}} + V_{k_3}^{\bar{z}} \right); \\ M_k^{\bar{d}} &= M_{k_1}^{\bar{d}} + M_{k_2}^{\bar{d}} + M_{k_3}^{\bar{d}} = \rho_k \left(V_{k_1}^{\bar{d}} + V_{k_2}^{\bar{d}} + V_{k_3}^{\bar{d}} \right); \\ M_k^{\mathcal{H}} &= \rho_k V_k^{\mathcal{H}} \end{aligned} \right\}; \quad (5.50)$$

$$\left. \begin{aligned}
 m_{н.зр}^a &= m_{н.зр1}^a + m_{н.зр2}^a = \rho_{зр} \delta \left(S_{н.зр1}^a + S_{н.зр2}^a \right); \\
 m_{н.зр}^б &= m_{н.зр1}^б + m_{н.зр2}^б = \rho_{зр} \delta \left(S_{н.зр1}^б + S_{н.зр2}^б \right); \\
 m_{н.зр}^в &= m_{н.зр1}^в + m_{н.зр2}^в + m_{н.зр3}^в = \rho_{зр} \delta \left(S_{н.зр1}^в + S_{н.зр2}^в + S_{н.зр3}^в \right); \\
 m_{н.зр}^г &= m_{н.зр1}^г + m_{н.зр2}^г + m_{н.зр3}^г = \rho_{зр} \delta \left(S_{н.зр1}^г + S_{н.зр2}^г + S_{н.зр3}^г \right); \\
 m_{н.зр}^д &= m_{н.зр1}^д + m_{н.зр2}^д + m_{н.зр3}^д = \rho_{зр} \delta \left(S_{н.зр1}^д + S_{н.зр2}^д + S_{н.зр3}^д \right); \\
 m_{н.зр}^{жс} &= \rho_{зр} \delta S_{н.зр}^{жс}
 \end{aligned} \right\}, (5.51)$$

де $M_k^a, \dots, M_k^{жс}$ – загальна маса коренеплоду відповідної форми, г;

$M_{k1}^a, \dots, M_{k1}^д, M_{k2}^a, \dots, M_{k2}^д, M_{k3}^в, \dots, M_{k3}^д$ – відповідно, маса головки, тіла та хвостової частини відповідної форми коренеплоду, г;

$V_{k1}^a, \dots, V_{k1}^д, V_{k2}^a, \dots, V_{k2}^д, V_{k3}^в, \dots, V_{k3}^д$ – відповідно об'єм головки, тіла та хвостової частини відповідної форми коренеплоду, см³;

$V_k^{жс}$, – об'єм коренеплоду кулеподібної форми, см³;

$m_{н.зр}^a, \dots, m_{н.зр}^{жс}$ – загальна маса налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду відповідної форми, г;

$m_{н.зр1}^a, \dots, m_{н.зр1}^д, m_{н.зр2}^a, \dots, m_{н.зр2}^д, m_{н.зр3}^в, \dots, m_{н.зр3}^д$ – відповідно, маса налиплого ґрунту на поверхні головки, тіла та хвостової частини відповідної форми коренеплоду, г;

$S_{н.зр1}^a, \dots, S_{н.зр1}^д, S_{н.зр2}^a, \dots, S_{н.зр2}^д, S_{н.зр3}^в, \dots, S_{н.зр3}^д$ – відповідно, бічна площа головки, тіла та хвостової частини відповідної форми коренеплоду на якій знаходиться налиплий ґрунт, см²;

$S_{н.зр}^{жс}$, – бічна площа коренеплоду кулеподібної форми на якій знаходиться налиплий ґрунт, см³.

Таким чином, згідно з рівняннями (5.48), (5.50), (5.51) отримаємо інтегральну залежність для визначення маси коренеплодів і маси налиплого ґрунту на його поверхні для формалізованої форми, рис. 1. Д.1.1а додатка Д.1.1

$$M_k^a = \rho_k \left(\pi \int_0^{h_c} \left[f_1^a(z) \right]^2 dz + \pi \int_0^{l_k} \left[f_2^a(z) \right]^2 dz \right); \quad (5.52)$$

$$m_{н.зр}^a = \rho_{зр} \delta \left(2\pi \int_0^{l_k} f_2^a(z) \sqrt{1 + \left[f_2^a(z) \right]^2} dz + 2\pi \int_0^{h_{\rho.c}} f_1^a(z) \sqrt{1 + \left[f_1^a(z) \right]^2} dz \right), \quad (5.53)$$

де l_k – довжина головки та тіла коренеплоду, см;

$h_{\rho.c}$ – висота шару налиплого ґрунту на поверхні головки та тіла коренеплоду, см.

Згідно з рис. 1. Д.1.1а додатка Д.1.1 маємо:

- для зрізаної напівкулі: $x^2 + y^2 + z^2 = R_k^2$, $x = 0$, звідки

$$y^2 + z^2 = R_k^2; \quad y^2 = R_k^2 - z^2 = \left[f_2^a(z) \right]^2; \quad f_2^a(z) = \sqrt{R_k^2 - z^2}; \quad f_2^a(z) = \frac{-z}{2\sqrt{R_k^2 - z^2}}; \quad (5.54)$$

- для параболоїда обертання: $z = y^2 / l_k$, звідки

$$y^2 = l_k z = \left[f_1^a(z) \right]^2; \quad f_1^a(z) = \sqrt{l_k z}; \quad f_1^a(z) = \frac{\sqrt{l_k}}{2\sqrt{z}}. \quad (5.55)$$

де R_k – радіус коренеплоду, см;

z – біжуча координата осі OZ .

Після підстановки початкових умов з (5.54), (5.55) у рівняння (5.52), (5.53) було одержано

$$\begin{aligned}
M_k^a &= \pi \rho_k \int_0^{h_c} (R_k^2 - z^2) dz + \pi \rho_k \int_0^{l_k} l_k z dz = \\
&= \pi \rho_k \left[\left(R_k^2 z - \frac{z^3}{3} \right) \Big|_0^{h_c} + l_k \frac{z^2}{2} \Big|_0^{l_k} \right] = \\
&= \pi \rho_k \left(R_k^2 h_c - \frac{h_c^3}{3} \right) + \pi \rho_k l_k \left(\frac{l_k^2}{2} \right) = \pi \rho_k \left(R_k^2 h_c - \frac{h_c^3}{3} + \frac{l_k^3}{2} \right)
\end{aligned} \quad ; \quad (5.56)$$

$$\begin{aligned}
m_{н.зр}^a &= 2\pi \rho_{зр} \delta \left[\int_0^{l_k} \sqrt{l_k z} \sqrt{1 + \frac{l_k}{4z}} dz + \right. \\
&\quad \left. + \int_0^{h_{\rho.c}} \sqrt{R_k^2 - z^2} \sqrt{1 + \frac{z^2}{(R_k^2 - z^2)}} dz \right] = \\
&= \pi \rho_{зр} \delta \left[\int_0^{l_k} \sqrt{l_k} \sqrt{4z + l_k} dz + 2 \int_0^{h_{\rho.c}} R_k dz \right]
\end{aligned} \quad (5.57)$$

Обчислимо перший інтегральний вираз рівняння (5.57) способом підстановки або введенням нової змінної.

У рівнянні (5.57) покладемо $\sqrt{4z + l_k} = t$, або $4z + l_k = t^2$, тоді $2dz = t dt$, звідки

$$dz = -\frac{t dt}{2}; \quad (5.58)$$

при цьому нижня межа інтегрування становить $\sqrt{5l_k}$, а верхня $-\sqrt{l_k}$.

Таким чином

$$m_{н.зр}^a = \pi \rho_{зр} \delta \left(\sqrt{l_k} \int_{\sqrt{l_k}}^{\sqrt{5l_k}} t \frac{t}{2} dt + \int_0^{h_{\rho.c}} R_k dz \right). \quad (5.59)$$

Розв'язок інтегральних виразів (5.59) наступний.

Згідно [4-2]

$$\int \sqrt{a^2 - z^2} dz = \frac{1}{2} a^2 \arcsin \frac{z}{a} + \frac{1}{2} z \sqrt{a^2 - z^2} + c, \quad a = \sqrt{R_c^2 - x^2}.$$

Тоді

$$\begin{aligned}
V_{\rho_2} &= 2 \int_0^{\sqrt{R_\partial^2 - (R_\partial - a)^2}} \left[\int_{-\sqrt{R_\partial^2 - x^2}}^{-(R_\partial - a)} \left(\sqrt{R_c^2 - (x^2 + z^2)} - \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right) dz \right] dx = \\
&= 2 \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[\int_{(R_\partial - a)}^{\sqrt{R_\partial^2 - x^2}} \left(\sqrt{R_c^2 - (x^2 + z^2)} - \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right) dz \right] dx = \\
&= 2 \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[\frac{1}{2} (R_c^2 - x^2) \arcsin \frac{z}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} + \right. \\
&\quad \left. + \frac{1}{2} z \sqrt{R_c^2 - x^2 - z^2} - 2z \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right]_{z=R_\partial - a}^{z=\sqrt{R_\partial^2 - x^2}} dx = \\
&= \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[(R_c^2 - x^2) \arcsin \frac{z}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} + \right. \\
&\quad \left. + z \sqrt{R_c^2 - x^2 - z^2} - 2z \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right]_{z=R_\partial - a}^{z=\sqrt{R_\partial^2 - x^2}} dx = \\
&= \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[(R_c^2 - x^2) \left(\arcsin \frac{\sqrt{R_\partial^2 - x^2}}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} - \arcsin \frac{R_\partial - a}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} \right) + \right. \\
&\quad + \sqrt{(R_c^2 - R_\partial^2)(R_\partial^2 - x^2)} - \\
&\quad \left. - (R_\partial - a) \sqrt{R_c^2 - (R_\partial - a)^2 - x^2} - 2\sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \left[\sqrt{R_\partial^2 - x^2} - (R_\partial - a) \right] \right] dx = \\
&= \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[(R_c^2 - x^2) \left(\arcsin \frac{\sqrt{R_\partial^2 - x^2}}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} - \arcsin \frac{R_\partial - a}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} \right) - \right. \\
&\quad - \sqrt{(R_c^2 - R_\partial^2)(R_\partial^2 - x^2)} + \\
&\quad \left. + (R_\partial - a) \left(2\sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} - \sqrt{R_c^2 - (R_\partial - a)^2 - x^2} \right) \right] dx.
\end{aligned}$$

(5.60)

Об'єм V_{ρ_1} визначають у такій послідовності

$$\begin{aligned}
V_{\rho_1} &= V_m \int_{R_\partial - a}^{R_\partial} (\sqrt{R_c^2 - z^2} - \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2}) dz = \\
&= \left(\frac{1}{2} R_c^2 \arcsin \frac{z}{R_c} + \frac{1}{2} z \sqrt{R_c^2 - z^2} - z \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right) \Big|_{R_\partial - a}^{R_\partial} = \\
&= \frac{1}{2} R_c^2 \left(\arcsin \frac{R_\partial}{R_c} - \arcsin \frac{R_\partial - a}{R_c} \right) - a \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} = \\
&= 0,125 V_m D_c^2 \left(\arcsin \frac{D_\partial}{D_c} - \arcsin \frac{0,5 D_\partial - a}{0,5 D_c} \right) - 0,5 a \sqrt{D_c^2 - D_\partial^2}
\end{aligned} \tag{5.62}$$

Тоді, згідно (5.50), (5.51) одержимо

$$\left. \begin{aligned}
M_k^{\bar{o}} &= \pi \rho_k \left(R_k^2 h_c - \frac{h_c^3}{3} \right) + \pi \rho_k \frac{R_k^2 l_k}{3}; \\
M_k^{\epsilon} &= \pi \rho_k \left(R_k^2 h_c - \frac{h_c^3}{3} \right) + \frac{\pi \rho_k}{3} (l_k - h_{\rho,k}) (R_k^2 + r_k'^2 + R_k r_k') + \frac{\pi \rho_k}{3} r_k'^2 h_{\rho,k}; \\
M_k^{\epsilon} &= \pi \rho_k \left(R_k^2 h_c - \frac{h_c^3}{3} \right) + \pi \rho_k R_k^2 (l_k - h_{\rho,k}) + \frac{\pi \rho_k}{3} R_k^2 h_{\rho,k}; \\
M_k^{\partial} &= \pi \rho_k \left(R_k^2 h_c - \frac{h_c^3}{3} \right) + \pi \rho_k R_k^2 (l_k - h_{\rho,n}) + \pi \rho_k \left(\frac{2 h_{\rho,n}^3}{3k} \right); M_k^{\text{жс}} = \frac{4}{3} \pi \rho_k R_k^3
\end{aligned} \right\} \tag{5.63}$$

$$\left. \begin{aligned}
m_{n,\epsilon p}^{\bar{o}} &= 2 \pi \rho_{\epsilon p} \delta R_k h_{\rho,c} + \frac{\pi \rho_{\epsilon p} \delta r_k'^2}{\sin(\psi / 2)}; \\
m_{n,\epsilon p}^{\epsilon} &= 2 \pi \rho_{\epsilon p} \delta R_k h_{\rho,c} + \pi \rho_{\epsilon p} \delta \sqrt{(h_\rho - h_{\rho,k})^2 + (r_{y,u} - r_k')^2} (r_{y,u} + r_k') + \\
&\quad + \pi \rho_{\epsilon p} \delta r_k' \sqrt{r_k'^2 + h_{\rho,k}^2}; \\
m_{n,\epsilon p}^{\epsilon} &= 2 \pi \rho_{\epsilon p} \delta R_k h_{\rho,c} + 2 \pi \rho_{\epsilon p} \delta R_k h_{\rho,u} + \pi \rho_{\epsilon p} \delta r_k' \sqrt{r_k'^2 + h_{\rho,k}^2}; \\
m_{n,\epsilon p}^{\partial} &= 2 \pi \rho_{\epsilon p} \delta R_k h_{\rho,c} + 2 \pi \rho_{\epsilon p} \delta R_k h_{\rho,u} + \\
m_{n,\epsilon p}^{\text{жс}} &= 2 \pi \rho_{\epsilon p} \delta R_k h_\rho
\end{aligned} \right\} \tag{5.64}$$

де $h_{\rho,k}$, $h_{\rho,n}$ – висота шару налиплого ґрунту на поверхні хвостової частини відповідної форми коренеплоду, см;

$r_{y,u}$, r_k' – відповідно радіус усіченого циліндра та конуса, см;

$h_{\rho.ц}$ – висота шару налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду, см;

ψ – кут конуса росту коренеплоду, град.

Після відповідного спрощення виразів (5.45), (5.46) одержано кінцеві детерміновані математичні моделі, які характеризують поведінку моделі, тобто залежності зміни маси формалізованих просторових форм коренеплодів і ймовірного прогнозування маси налиплого ґрунту на їх поверхнях від розмірних і агробіологічних характеристик коренеплодів і їх глибини залягання у ґрунті, тобто

$$\left. \begin{aligned} M_k^a &= \frac{\pi \rho_k}{3} \left[h_c (0,75 D_k^2 - h_c^2) + \frac{3(L_k - h_c)^3}{2} \right]; \\ M_k^b &= \frac{\pi \rho_k}{3} \left[h_c (0,75 D_k^2 - h_c^2) + 0,25 D_k^2 (L_k - h_c) \right]; \\ M_k^e &= \frac{\pi \rho_k}{3} \left[h_c (0,75 D_k^2 - h_c^2) + 0,25 (L_k - h_c - h_{\rho.k}) \times \right. \\ &\quad \left. \times (D_k^2 + D_k'^2 + D_k D_k') + 0,25 D_k'^2 h_{\rho.k} \right]; \\ M_k^z &= \frac{\pi \rho_k}{3} \left[0,25 D_k^2 (3L_k - 2h_{\rho.k}) - h_c^3 \right]; \\ M_k^d &= \frac{\pi \rho_k}{3} \left[0,75 D_k^2 (L_k - h_{\rho.n}) - h_c^3 + 2h_{\rho.n}^3 \right]; \\ M_k^{жс} &= \frac{\pi \rho_k D_k^3}{6}. \end{aligned} \right\} ; \quad (5.65)$$

$$\left. \begin{aligned}
m_{н.зр}^a &= \pi \rho_{зр} \delta \left[\frac{2}{3} (L_k - h_c)^2 + D_k h_{\rho.c} \right]; \\
m_{н.зр}^б &= 0,25 \pi \rho_{зр} \delta D_k \left(\frac{D_k h_{\rho}^2}{\sin(\psi / 2) (L_k - h_c)^2} + 4 h_{\rho.c} \right); \\
m_{н.зр}^в &= 0,25 \pi \rho_{зр} \delta \left[\frac{D'_k \sqrt{D_k'^2 + 4 h_{\rho.k}^2} + (D_{y.ч} + D'_k) \times}{\times \sqrt{(h_{\rho} - h_{\rho.k})^2 + 0,25 (D_{y.ч} - D_k)^2} + 4 D_k h_{\rho.c}} \right]; \\
m_{н.зр}^г &= \pi \rho_{гр} \delta \left[0,25 D'_k \sqrt{D_k'^2 + 4 h_{\rho.k}^2} + D_k (h_{\rho.c} + h_{\rho.ч}) \right]; \\
m_{н.зр}^д &= \pi \rho_{зр} \delta \left[0,25 D_k^2 + h_{\rho.n}^2 + D_k (h_{\rho.c} + h_{\rho.ч}) \right]; \\
m_{н.гр}^ж &= \pi \rho_{зр} \delta D_k h_{\rho}
\end{aligned} \right\}, \quad (5.66)$$

де D'_k , $D_{y.ч}$ – відповідно діаметр коренеплоду, діаметр тіла та хвостової частини коренеплоду, см.

На рис. 7.Д.2.1 додатка Д.2.1 наведено поверхні залежності зміни маси M_k^i просторових формалізованих форм коренеплодів від діаметра D_k та загальної довжини L_k коренеплоду, які побудовано згідно отриманих детермінованих математичних моделей (5.62), при цьому $h_c = 3 \dots 5$ см; $\rho_k = 0,5 \dots 0,7$ г/см³ відповідно до виду культури коренеплоду.

4. З умови непошкодження коренеплодів визначають допустиму критичну кутову швидкість $[\omega_k]$ лопаті приводного вала [262].

Для проведення аналізу технологічного процесу відокремлення залишків гички з головок коренеплодів опишемо наступні конструктивно-технологічні особливості АВТОКРО:

- фланці 6 (рис. 2.16) пружних лопатей 11 АВТОКРО знаходяться під кутом θ до вертикалі, що забезпечує напрям сили удару в сторону сферичного диска 1;

- встановлення сферичного диска 1 під кутом γ до вертикалі, завдяки

чому забезпечується інтенсифікація процесу викопування коренеплодів 1 шляхом виникаючої під час руху диска додаткової проекції бокової виштовхуючої сили на вертикальну площину та усувається забивання простору між суміжними викопуючими дисками крупними коренеплодами, тому що вони проштовхуються лопатями 10, 11;

- встановлення у передній частині робочої кромки диска 1 корененаправляча 3 сприяє зменшенню втрат і пошкодження вибитих із рядків коренеплодів.

Головними критеріями, які регламентують технологічний процес роботи приводного вала 4 в комбінації з одностороннім сферичним диском 1 є кількісні показники пошкодження та вивалювання (вивертання) коренеплодів очисними лопатями 10 при задовільних показниках залишків гички на їх головках у процесі одночасного викопування коренеплодів сферичним диском 1 АВТОКРО. Аналіз теоретичних досліджень роботи очисників головок коренеплодів на корені показав, що в них недостатньо враховано вплив конструктивно-кінематичних параметрів приводного вала АВТОКРО на наведені

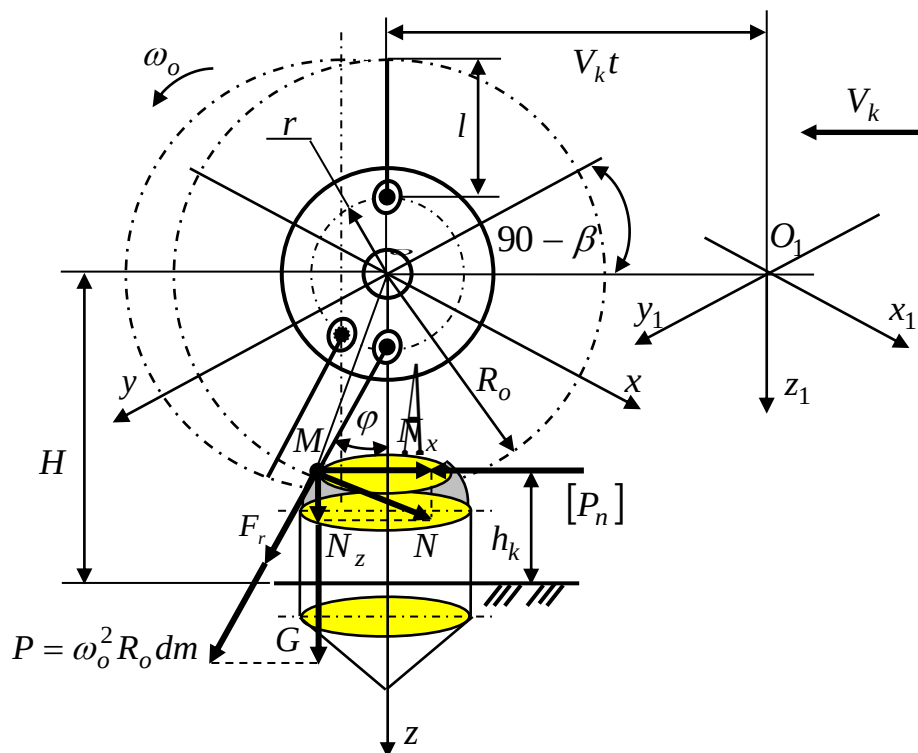


Рис. 5.3. Схема до розрахунку процесу взаємодії лопаті з головою коренеплоду

вище агротехнічні показники, які визначають технологічну ефективність роботи АВТОКРО [1].

Для аналізу технологічного процесу взаємодії лопаті АВТОКРО з головкою коренеплоду було побудовано розрахункову схему, яку наведено на рис. 5,3. Вісь O приводного вала АВТОКРО перпендикулярна площині рухомих координат $Oxyz$. Лопать AM , довжина якої становить l шарнірно підвішена на осі A , яка віддалена від центра вала на величину радіуса обертання r . Кінець лопаті описує коло радіусом R_o при обертанні її з постійною відносною кутовою швидкістю ω_o у площині Oxz . Вісь очисного вала O , яка перпендикулярна осі рядка, знаходиться над поверхнею ґрунту на відстані H , а вісь A , на якій закріплено лопаті, повернено відносно осі O очисного вала на кут β [262], або відносно осі рядка на кут $90^\circ - \beta$. Положення лопаті AM визначається кутом φ між вертикаллю і радіусом описаного кола R_o .

Приймаємо, що взаємодія лопаті з головкою коренеплоду (центр удару) відбувається у точці M , яка знаходиться на відстані h_k від поверхні ґрунту. Вісь обертання O приводного вала переміщується щодо нерухомих координат $O_1x_1y_1z_1$ з постійною поступальною швидкістю руху V_k АКМ.

При формалізації технологічного процесу роботи приводного вала, тобто аналізу впливу взаємодії його конструктивно-кінематичних параметрів на показники якості роботи, або при теоретичних розрахунках параметрів та режимів роботи приводного вала приймалися наступні допущення та спрощення:

- головка коренеплоду є ідеальної зрізаної півсферичної форми, що розташована над ґрунтом;
- на головці коренеплоду розташовані залишки гички, що мають форму трапеції, менша сторона якої зв'язана з коренеплодом;
- очисна лопать однорядна по всій своїй довжині, при цьому у процесі її взаємодії з головкою коренеплоду вона не деформується, а взаємодія сил відбувається у точці контакту.

Таким чином, у даному випадку маємо складний плоский рух лопаті АВТОКРО, яка одночасно приймає участь у поступальному русі з швидкістю руху копача V_k відносно нерухомих координат $O_1x_1y_1z_1$ і обертального руху навколо нерухомої осі Oy .

Сила співудару лопаті по головці коренеплоду у точці M визначається другим законом Ньютона [199]

$$md / dt = N, \text{ або } md = Ndt, \quad (5.67)$$

де m – приведена маса лопаті у центрі удару, кг;

N – сила удару, Н;

t – час удару, с.

Вісь обертання A , на якій закріплено лопаті приводного вала переміщується щодо нерухомих осей $O_1x_1y_1z_1$ з постійною переносною швидкістю V_o , яка дорівнює:

$$V_o = V_k \cos \beta, \quad (5.68)$$

де β – кут між напрямками розташування осі рядка коренеплодів і осі обертання A очисних лопатей, град.

Вектор абсолютної швидкості співудару лопаті $\bar{V}_a$ складається з суми векторів відносної швидкості лопаті $\bar{V}_r$ та переносної швидкості $\bar{V}_o$, при цьому

$$\bar{V}_a = \bar{V}_r - \bar{V}_o = \bar{V}_r - \bar{V}_k \cos \beta. \quad (5.69)$$

Для подальшого детального дослідження робочого процесу очищення головок коренеплодів від залишків гички умовно розділимо його на дві стадії: перша – зустріч лопаті з тілом коренеплоду; друга – контактне видалення гички з головки коренеплоду. Кожна стадія розділена на три етапи: початковий, проміжний і кінцевий. Перша стадія очищення головок коренеплодів від залишків гички починається при зіткненні кінця лопаті з тілом коренеплоду, а закінчується, коли лопать займає вертикальне положення. Ця стадія характерна

тим, що сила удару лопаті по коренеплоду спочатку спрямована вгору, а наприкінці удару – горизонтально поверхні ґрунту. У другій стадії напрямок удару лопаті спочатку горизонтальний, а потім спрямований вниз. Друга стадія закінчується при завершенні контакту лопаті з головкою коренеплоду, тобто коли припиняється процес очищення головок коренеплодів від залишків гички.

Для непошкодження коренеплодів при взаємодії лопаті з коренеплодом необхідно виконання умови: припустима сила удару лопаті по коренеплоду не перевищувала допустимий питомий тиск стиснення тіла коренеплоду, а для невивертання коренеплодів – щоб припустима сила удару (контакту) лопатей по коренеплоду не перевищувала допустиму силу вивертання коренеплоду з ґрунту, тобто [262]

$$\frac{F_k}{S_k} < [\sigma_{cm}]; \quad F_k < [P_n], \quad (5.70)$$

де S_k – площа контакту, м²;

F_k – сила (удару) контакту лопатей, Н;

$[\sigma_{cm}]$ – допустимий тиск стиснення тіла коренеплоду, Н/м²;

$[P_n]$ – допустима сила вивертання коренеплоду з ґрунту, Н.

Під час вільного обертання лопаті з кутовою швидкістю ω_o виникає відцентрова сила інерції F_r , яка спрямована вздовж лопаті і яка примушує лопать займати положення вздовж напрямку радіуса r шарніра А [199, 200]

$$F_r = m\omega_o^2 R_o \cos \varphi, \quad (5.71)$$

де F_r – відцентрова сила інерції, Н;

ω_o – кутова швидкість обертання лопаті, рад/с;

R_o – радіус очисного вала, м;

φ – кут між вертикальною віссю Oz і радіусом описаного кола R_o , рад.

Також, при ударі лопаті по коренеплоду в першій стадії, тобто зустрічі її з головкою коренеплоду, на лопать діє сила ваги лопаті $G = mg$, яка зосереджена

в центрі мас лопаті, який знаходиться на відстані $r + l$ від осі обертання і спрямована паралельно осі Oz . Крім цього, в точці контакту виникає сила інерції лопаті, яка направлена перпендикулярно до лопаті в сторону її обертання та кориолісова сила інерції $K = -2mR_o\dot{\phi}(\omega_o \times V_o)$, спрямована паралельно осі Ox в сторону протилежну напрямку кориолісового прискорення $w_c = 2R_o\dot{\phi}(\omega_o \times V_o)$, яке не впливає на рівновагу сил у системі координат $Oxyz$.

Від дії перерахованих сил на головку коренеплоду з його боку виникає реактивна сила зв'язку коренеплоду з ґрунтом N , яку можна розкласти на дві складові – горизонтальну силу N_x , яка впливає на вивертання коренеплоду з ґрунту і вертикальну силу N_z витягування коренеплоду з ґрунту [149, 150].

Система тіл “лопоть очисника-коренеплід” буде знаходитись у рівновазі в момент співудару, якщо буде виконана умова [262]

$$\frac{d}{dt}(T) < [P_n] \times V_c, \quad (5.72)$$

де T – кінетична енергія лопаті очисника в місці удару, Дж;

m – маса лопаті, кг;

V_c – швидкість співудару, м/с.

Кінетична енергія лопаті приводного вала складається з кінетичної енергії центра мас лопаті, яка залежить від поступального швидкості руху V_k відносно інерційних осей $O_1x_1y_1z_1$ та кінетичної енергії щодо осей $Oxyz$, які переміщуються та швидкості обертання центра мас лопаті навколо осі очисного вала зі швидкістю V_r на відстані $(r + l = R_o)$, де r – радіус осі A відносно центра O вала, м; l – довжина лопаті, м.

Модуль швидкості центра мас лопаті щодо осі обертання дорівнює

$$V_r = R_o\dot{\phi} \cos \varphi = (r + l)\omega_o \cos \varphi. \quad (5.73)$$

Згідно [199] кінетична енергія матеріальної системи, є сума кінетичних енергій усіх точок, які входять у систему тіл, то її можна записати в загальному вигляді:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m (V_c^2 + 2V_c V_r + V_r^2). \quad (5.74)$$

Враховуючи (5.54) та після перетворення кінетична енергія лопаті, яка одночасно обертається навколо осі із дотичною швидкістю V_r і переміщується із поступальною швидкістю V_k буде дорівнювати [169]

$$T = \frac{1}{2} m V_o^2 + m V_o V_r + T_r, \quad (5.75)$$

при цьому кінетична енергія T_r (Дж) тіла при обертанні дорівнює [199]

$$T_r = \frac{1}{2} I \dot{\phi}^2 = \frac{1}{2} I \omega_o^2, \quad (5.76)$$

де I – момент інерції лопаті відносно осі обертання, кг м².

Момент інерції лопаті довжиною $2l$ залежить від її форми і відстані до приведенного центра мас (радіуса обертання) лопаті. Для лопаті, яка має форму прямокутного паралелепіпеда із сторонами $2a \times 2b \times 2l$ та яка буде у вигляді прямого круглого циліндра діаметром D_n , момент інерції лопаті відносно її приведенного центра мас дорівнює [199]

$$I_n = \frac{m}{3} (a^2 + l^2); \quad I_k = \frac{m}{4} \left(\frac{1}{3} l^2 + R_n^2 \right), \quad (5.77)$$

де I_n , I_k – відповідно, момент інерції лопаті, яка має форму прямокутного паралелепіпеда та круглого циліндра, кг м²;

a – ширина лопаті, м;

R_n – радіус поперечного перерізу лопаті, м.

Підставляючи в рівняння (5.74) значення вхідних складових одержимо залежність для визначення кінетичної енергії лопаті, яка виконана у формі прямокутного паралелепіпеда:

$$T_n = \frac{1}{2} m V_k^2 \cos^2 \beta + m V_k \omega_o (r + l) \cos \beta \cos \varphi + \frac{m}{6} \omega_o^2 (a^2 + l^2). \quad (5.78)$$

Кінетична енергія приведенного центра мас лопаті, яка має форму прямого круглого циліндра дорівнює

$$T_k = \frac{1}{2} m V_k^2 \cos^2 \beta + m V_k \omega_o (r + l) \cos \beta \cos \varphi + \frac{m}{8} \omega_o^2 \left(\frac{1}{3} l^2 + R_n^2 \right). \quad (5.79)$$

У загальному випадку, співудар лопаті по головці коренеплодів, які розташовуються над поверхнею ґрунту з різною висотою h_k здійснюється за рахунок контакту її вільного кінця, який віддалений на відстані біжучого радіус-вектора $\rho = r + l$ від осі обертання даної лопаті.

Відповідно до закону про зміну кінетичної енергії і вважаючи, що приведений центр мас лопаті зосереджений на її вільному кінці, у стадії зустрічі лопаті з коренеплодом рівняння (5.74) і (5.79) можна привести до вигляду

$$T_n = \frac{1}{2} m V_k^2 \cos^2 \beta + m V_k \omega_o \rho \cos \beta \cos \varphi + \frac{m}{6} \omega_o^2 (a^2 + l^2). \quad (5.80)$$

$$T_k = \frac{1}{2} m V_k^2 \cos^2 \beta + m V_k \omega_o \rho \cos \beta \cos \varphi + \frac{m}{8} \omega_o^2 \left(\frac{1}{3} l^2 + R_n^2 \right). \quad (5.81)$$

Повна похідна за часом t від кінетичної енергії матеріальної точки дорівнює елементарній сумарній роботі всіх діючих на точку сил [199], тобто

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m V_a^2}{2} \right) = \frac{d'}{dt} (A_c) = [P_n] \times dr_k, \quad (5.82)$$

де A_c – сумарна робота (Дж).

Похідна від роботи A_c за часом t дорівнює сумарній потужності всіх сил, які прикладені до системи [199], тобто

$$\frac{d}{dt}(A_c) = N_c = [P_n] \frac{dr_k}{dt} = [P_n] \times V_c, \quad (5.83)$$

де N_c – сумарна потужність діючих сил, Дж/с.

Тоді, враховуючи (5.78), (5.79), матеріальна система тіл «лопать приводного вала-коренеплід» буде зрівноважена, якщо віртуальне переміщення закріпленого в ґрунті коренеплоду, зусилля на вивалювання якого P_n , буде здійснено зі швидкістю $V_k \sin \beta$ [199], тобто буде виконана необхідна умова:

$$[P_n] \times V_k \sin \beta = N_c = \frac{d}{dt}(T). \quad (5.84)$$

Приймаючи робочу швидкість руху V_k АВТОКРО (приводного вала) прямолінійною і рівномірною ($V_k = \text{const}$), перша похідна за часом t рівнянь (5.65) і (5.66) буде мати вигляд:

$$\frac{d}{dt}(T_n) = m \left(\frac{dV_k}{dt} \right) V_k \cos^2 \beta + m \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) \rho \cos \beta \cos \varphi + \frac{m}{3 \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) \omega_o (a^2 + l^2); \quad (5.85)$$

$$\frac{d}{dt}(T_k) = m \left(\frac{dV_k}{dt} \right) V_k \cos^2 \beta + m \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) \rho \cos \beta \cos \varphi + \frac{m}{4 \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) \omega_o \left(\frac{1}{3} l^2 + R_n^2 \right). \quad (5.86)$$

Якщо обертання лопаті приводного вала спрямоване за ходом руху комбінованого однодискового копака, тоді враховуючи рівняння (5.78) умова рівноваги приведеної системи тіл «лопать приводного вала-коренеплід» буде визначатися за формулою

$$\frac{d}{dt}(T) - [P_n] \times V_k \sin \beta = 0. \quad (7.87)$$

Таким чином, для очисного вала з лопатями, які виконанні в формі прямокутного паралелепіпеда та у формі прямого круглого циліндра, умова невибивання коренеплодів із ґрунту очисними лопатями, відповідно, має вигляд

$$[P_{n.n}] \geq \frac{m}{V_k \sin \beta} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) V_k \cos^2 \beta + \frac{m}{V_k \sin \beta} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) \rho \cos \beta \cos \varphi +$$

$$+ \frac{m}{3V_k \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) \omega_o (a^2 + l^2) \quad ; (5.88)$$

$$[P_{n.k}] \geq \frac{m}{V_k \sin \beta} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) V_k \cos^2 \beta + \frac{m}{V_k \sin \beta} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) \rho \cos \beta \cos \varphi +$$

$$+ \frac{m}{4V_k \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) \omega_o \left(\frac{1}{3} l^2 + R_n^2 \right) \quad . (5.89)$$

або після спрощення

$$[P_{n.n}] \geq m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{V_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{m \omega_o (a^2 + l^2)}{3V_k \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) ; (5.90)$$

$$[P_{n.k}] \geq m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{V_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{m \omega_o \left(\frac{1}{3} l^2 + R_n^2 \right)}{4V_k \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) . (5.91)$$

Залежність між основними конструктивно-кінематичними параметрами приводного вала АВТОКРО, кінематичними параметрами процесу видалення залишків гички з головок коренеплоді і розмірними характеристиками головок коренеплодів може бути представлена в вигляді

$$z = \frac{\left(d_k + 2\sqrt{D_o h_k - h_k^2} \right)}{V_k} n_k z_o, \quad (5.92)$$

де z – кількість ударів лопаті по головці коренеплоду за один оберт вала, шт.;

d_k – діаметр коренеплоду, м;

D_o – діаметр описаного кола лопаті ротора приводного вала, м;

h_k – висота розташування головки коренеплоду над поверхнею ґрунту, м;

n_k – частота обертання лопаті приводного вала, об/с;

z_o – кількість осей, які розміщені на барабані вала, шт.

Тоді, згідно (7.74) та враховуючи, що $D_o = 2\rho$, а $\omega_o = \pi / 30$, звідки $n = \omega / 2\pi$ маємо

$$V_k = \frac{(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2})}{2\pi z} \omega_o z_o. \quad (5.93)$$

Підставивши значення швидкості руху V_k АВТОКРО з рівняння (5.89) у рівняння (5.86), (5.87) і враховуючи умови залежності (5.66) та після відповідного спрощення одержимо математичні моделі процесу взаємодії лопаті приводного вала АВТОКРО з головкою коренеплоду у динаміці залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і конструктивно-кінематичних параметрів приводного вала адаптованого комбінованого викопувального робочого органу:

- які характеризують умову невибивання коренеплодів з ґрунту лопатями очисного вала, які виконані, відповідно, у формі прямокутного паралелепіпеда та прямого круглого циліндра (порядок спрощення наведено у додатку Д.3.1, відповідно, формула (1.Д.3.1) та (2.Д.3.1):

$$F_{k.n} = \frac{2\pi m z \rho \cos \beta}{z_o (d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2})} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \times \left[\frac{z_o (d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2}) \cos \beta}{2\pi z \rho} + \frac{\cos \varphi}{\omega_o} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{(a^2 + l^2)}{3\rho \cos \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dV_k} \right) \right] \leq [P_n] \quad ; (5.94)$$

$$F_{k.k} = \frac{2\pi m z \rho \cos \beta}{2z_o (d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2})} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \times \left[\frac{z_o (d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2}) \cos \beta}{\pi z \rho} + \frac{\cos \varphi}{\omega_o} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{\left(\frac{l^2}{3} + R_n^2 \right)}{4\rho \cos \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dV_k} \right) \right] \leq [P_n] \quad ; (5.95)$$

- які характеризують умову непошкодження коренеплодів лопатями приводного вала АВТОКРО, які виконані, відповідно, у формі прямокутного

паралелепіеда та прямого круглого циліндра:

$$\sigma_{cm.n} = \frac{2\pi m z \rho \operatorname{ctg} \beta}{S_k z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right)} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \times$$

$$\times \left[\frac{z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \cos \beta}{2\pi z \rho} + \frac{\cos \varphi}{\omega_o} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{(a^2 + l^2)}{3\rho \cos \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dV_k} \right) \right] \leq [\sigma_{cm}] ; (5.96)$$

$$\sigma_{cm.k} = \frac{2\pi m z \rho \operatorname{ctg} \beta}{S_k z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right)} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \times$$

$$\times \left[\frac{z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \cos \beta}{\pi z \rho} + \frac{4 \cos \varphi}{\omega_o} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{\left(\frac{l^2}{3} + R_n^2 \right)}{4\rho \cos \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dV_k} \right) \right] \leq [\sigma_{cm}] . (5.97)$$

Аналіз побудованих теоретичних моделей показує, що сила удару (контакту) лопаті приводного вала АВТОКРО по головці коренеплодів прямо пропорційна масі лопаті, кількості ударів лопаті (або кутовій швидкості обертання лопаті і кількості осей, які розміщені на барабані очисного вала), та зворотно пропорційна поступальній швидкості переміщення АКМ, висоті розташування коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту та площі контакту лопаті з головкою коренеплоду.

Згідно одержаних математичних моделей (5.94)-(5.97) побудовано залежності зміни сили виветрання коренеплодів, як функції $F_{k,i} = f(dV_k / dt)$ (рис. 1.Д.3.1а, б додатка Д.3.1) і тиску стиснення тіла коренеплодів, як функції $\sigma_{cm,i} = f(S_k)$ (рис. 1.Д.3.1в, г додатка Д.3.1) для діапазону зміни кутової швидкості обертання очисного вала 40...80 рад/с. при наступних значеннях інших складових: $m = 0,5$ кг; $d_k = 0,15$ м; $h_k = 0,07$ м; $z_o = 4$; $\rho = 0,2$ м; $l = 0,15$ м; $R_{n,k} = 0,05$ м.

Аналіз графічних залежностей показує, що горизонтальна сила контакту (удару) лопатей з головкою коренеплоду, виконаних у формі прямокутного

паралелепіпеда, змінюється в межах 180...500 Н залежно від зміни кутової швидкості обертання очисного вала комбінованого копача, а для лопатей, які виконані у формі прямого круглого циліндра – 120...350 Н, при цьому питомий тиск лопаті на тіло коренеплоду, відповідно знаходиться у діапазоні 130...260 та 65...130 Н/м².

Таким чином, побудовані детерміновані математичні моделі процесу взаємодії лопаті очисного вала з головкою коренеплоду можуть бути використані для подальшої оптимізації конструктивно-кінематичних параметрів комбінованих копачів кормових буряків.

Визначення критичної швидкості обертання лопаті приводного вала АВТОКРО, або оптимізацію динамічних параметрів приводного вала АВТОКРО проведемо наступним чином.

Згідно з (5.81) та положення, що

$$\frac{d\omega_o}{dt} = \varepsilon_o = \frac{a_o}{\rho} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{dV_k}{dt} \right),$$

де ε_o – кутове прискорення, 1/с², запишемо залежності (5.90)-(5.91) у наступному вигляді:

$$\frac{m\omega_o(a^2 + l^2)}{3V_k\rho \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m\rho\omega_o \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{V_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) - [P_n] \leq 0; \quad (5.98)$$

$$\frac{m\omega_o \left(\frac{l^2}{3} + R_n^2 \right)}{4V_k\rho \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m\rho\omega_o \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{V_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) - [P_n] \leq 0; \quad (5.99)$$

$$\frac{m\omega_o(a^2 + l^2)}{3S_kV_k\rho \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m\rho\omega_o \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{S_kV_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{S_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) - [\sigma_{cm}] \leq 0; \quad (5.100)$$

$$\frac{m\omega_o \left(\frac{l^2}{3} + R_n^2 \right)}{4S_kV_k\rho \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m\rho\omega_o \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{S_kV_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{S_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) - [\sigma_{cm}] \leq 0. \quad (5.101)$$

Відповідно, критична кутова швидкість обертання лопаті ω_o^{kp} горизонтального приводного вала АВТОКРО, при якій забезпечується раціональна робота комбінованого односферичного копака коренеплодів визначається за формулою:

- для умови невивалювання коренеплодів лопатями приводного вала АВТОКРО, які виконані, відповідно, у формі прямокутного паралелепіпеда та прямого круглого циліндра:

$$\omega_{o.n}^{kp} \leq V_k \frac{\frac{[P_n]}{m\left(\frac{dV_k}{dt}\right)} - \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{\left[\frac{(a^2 + l^2)}{3\rho \sin \beta \cos \varphi} + \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi \right]}; \quad (5.102)$$

$$\omega_{o.k}^{kp} \leq V_k \frac{\frac{[P_n]}{m\left(\frac{dV_k}{dt}\right)} - \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{\left[\frac{(l^2 / 3 + R_n^2)}{4\rho \sin \beta \cos \varphi} + \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi \right]}; \quad (5.103)$$

- для умови непошкодження тіла коренеплодів лопатями приводного вала АВТОКРО, які виконані, відповідно, у формі прямокутного паралелепіпеда та прямого круглого циліндра:

$$\omega_{o.n}^{kp} \leq V_k \frac{\left\{ \frac{S_k[\sigma_{cm}]}{m\left(\frac{dV_k}{dt}\right)} - \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \right\}}{\left[\frac{(a^2 + l^2)}{3\rho \sin \beta \cos \varphi} + \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi \right]}; \quad (5.104)$$

$$\omega_{o.k}^{kp} \leq V_k \frac{\left\{ \frac{S_k [\sigma_{cm}]}{m \left(\frac{dV_k}{dt} \right)} - \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \right\}}{\left[\frac{(l^2 / 3 + R_n^2)}{4 \rho \sin \beta \cos \varphi} + \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi \right]}. \quad (5.105)$$

Згідно залежностей (5.104) і (5.105) побудовано графічні відтворення зміни критичної кутової швидкості обертання лопаті, виконаної у формі прямокутного паралелепіпеда $\omega_{o.n}^{kp} = f([P_n], m)$, (рис. 2.Д.3.1а додатка Д.3.1), $\omega_{o.n}^{kp} = f([P_n], \rho)$, (рис. 2.Д.3.1б додатка Д.3.1) та $\omega_{o.n}^{kp} = f([\sigma_{cm}], m)$, (рис. 2.Д.3.1в додатка Д.3.1), $\omega_{o.n}^{kp} = f([\sigma_{cm}], \rho)$, (рис. 2.Д.3.1г додатка Д.3.1).

За даними одержаних результатів експериментальних досліджень [1] сила вивалювання коренеплодів з ґрунту, залежно від висоти розташування коренеплодів над поверхнею ґрунту h_k , діаметра коренеплоду d_k і глибини його залягання у ґрунті h , знаходиться у межах $[P_n] = 0,15 \dots 0,4$ кН, а допустимі напруження стиснення - $[\sigma_{cm}] = 140 \dots 300$ Н/м².

Тоді значення критичної кутової швидкості обертання лопаті, при роботі якої виконується умова невибивання коренеплодів з ґрунту при швидкості руху копача $V_k = 1,5$ м/с, залежно від зміни маси лопаті $m = 0,1 \dots 0,5$ кг, буде знаходитися у межах $\omega_{o.n}^{kp} = 23 \dots 100$ рад/с при значенні радіуса описаного кола контакту лопаті з головкою коренеплоду $\rho = 0,3$ м; залежно від зміни $\rho = 0,1 \dots 0,3$ м при $m = 0,25$ кг – $\omega_{o.n}^{kp} = 69 \dots 82$ рад/с (рис. 2.Д.3.1а, б додатка Д.3.1), а, відповідно, умова непошкодження тіла коренеплодів – при критичних значеннях кутової швидкості $\omega_{o.n}^{kp} = 33 \dots 115$ рад/с та $\omega_{o.n}^{kp} = 54 \dots 100$ рад/с (рис. 2.Д.3.1в, г додатка Д.3.1).

Враховуючи особливості агротехнічних характеристик кормових буряків, більш за все таких, як діаметр головки коренеплодів $d_k = 0,1 \dots 0,25$ м, висоти

розташування коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту $h_k = 0,05 \dots 0,15$ м [1], оптимізацію конструктивно-кінематичних параметрів очисного вала з урахуванням указаних особливостей розмірно-масових характеристик кормових буряків проведемо згідно побудованих графічних відтворень залежності зміни сили вивалювання коренеплодів, як функції $F_{k,n} = f(d_k, \omega_o) \leq [P_h]$ (рис. 2.Д.3.1а додатка Д.3.1), $F_{k,n} = f(h_k, \omega_o) \leq [P_h]$ (рис. 2.Д.3.1б додатка Д.3.1), $F_{k,n} = f(\rho, \omega_o) \leq [P_h]$ (рис. 2.Д.3.1а додатка Д.3.1) і $F_{k,n} = f(m, \omega_o) \leq [P_h]$ (рис. 2.Д.3.1г додатка Д.3.1) у такій послідовності.

Спершу визначимо допустиму критичну швидкість обертання лопаті для встановлених інтервально-середніх діаметрів коренеплодів, які превалюють на даному полі. Наприклад, для $d_k = 0,13 \dots 0,17$ м та умови $150 \leq [P_n] \leq 400$ Н, ω_o буде знаходитися у діапазоні $\omega_{o,n}^{kp} \leq 60 \dots 65$ рад/с (рис. 2.Д.3.1а додатка Д.3.1), при цьому висота розташування головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту повинна бути $0,06 \dots 0,08$ м (рис. 2.Д.3.1б додатка Д.3.1), радіус описаного кола лопаті $\rho \leq 0,25$ м (рис. 3.20, в), а маса лопаті $0,22 \leq m \leq 0,25$ кг (рис. 2.Д.3.1г додатка Д.3.1).

5. Уточнюють кут «атаки» диска [263]:

Основними конструктивно-кінематичними параметрами АВТОКРО, які регламентують технологічний процес викопування кормових буряків із одночасним видаленням залишків гички з головок коренеплодів 1 (рис. 3.Д.3.1 додатка Д.3.1) є поступальна швидкість руху V_k АКМ 2, кутова швидкість обертання ω_o горизонтального вала 5 з лопатями 9, кут β встановлення осей 8 лопатей 9 відносно осі O_o приводного вала 5, діаметр D_o приводного вала 5 (довжина l очисних елементів 9) і координати (H_o, b_o) розміщення осі O_o приводного вала 5 відносно положення осі O (3) вільного обертання диска 2 діаметром D , який встановлений під кутом α відносно осі рядка коренеплодів 1, глибина ходу якого h .

Поступальна швидкість руху V_k АКМ регламентована вихідними

вимогами до КМ [228, 229] та технічним завданням на проектування робочих органів та КМ в цілому. Сучасні вимоги передбачають швидкість руху КМ для збирання кормових буряків у межах 1,5...1,8 м/с [229].

Для усунення втрат коренеплодів, тобто забезпечення повноти викопування коренеплодів, необхідно виконання умови, рис. 3.Д.3.1 додатка Д.3.1

$$b_e \geq 2\Delta s_{max} + 2\Delta z_{max} + 2r_k, \quad (5.106)$$

де Δs_{max} – максимальне поперечне відхилення копача під час його руху відносно осі рядка, м;

Δz_{max} – максимальне поперечне відхилення центра коренеплоду відносно осі рядка, м;

r_k – усереднений радіус головки кормових буряків, м.

Згідно з [201] та враховуючи (5.106) можна записати

$$b_c = 2\sqrt{2hR - h^2}; \quad b_e = b_c \sin \alpha; \quad 2 \sin \alpha \sqrt{h(D - h)} \geq 2\Delta s_{max} + 2\Delta z_{max} + 2r_k, \quad (5.107)$$

або

$$\alpha \geq \arcsin \frac{2(\Delta s_{max} + \Delta z_{max}) + d_k}{2\sqrt{h(D - h)}}. \quad (5.108)$$

Залежність (5.108) характеризує умови зміни кута встановлення сферичного викопуючого диска α відносно поздовжньої осі розташування коренеплодів залежно від основних параметрів диска та діаметра головок коренеплодів з умови забезпечення їх повноти викопування АВТОКРО, або усунення їх втрат.

На рис. 4.Д.3.1 додатка Д.3.1 наведено графічні відтворення зміни кута α , побудовані згідно залежності (2.85) при $\Delta s_{max} = 3$ см, $\Delta z_{max} = 5$ см [1], які можуть бути використані в якості номограми для визначення основних параметрів диска, залежно від розмірних характеристик коренеплодів.

Використовують номограму наступним чином.

Для домінуючих на даному полі інтервально-середнього діаметра

коренеплодів, наприклад $d_k = 12...15$ (см) (рис. 4.Д.3.1а додатка Д.3.1) та вибраних стандартних діаметрів односторонніх сферичних дисків, наприклад $D = 40$ і 45 см [160, 186] визначаємо межі зміни кута α встановлення диска відносно поздовжньої осі розташування кормових буряків, який задовольняє умову (5.108): при діаметрі диска $D = 40$ см $0,61 \leq \alpha \leq 0,7$ (рад), або $34^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$, а при діаметрі $D = 45$ см $0,57 \leq \alpha \leq 0,66$ (рад), або $32^\circ \leq \alpha \leq 37^\circ$.

Тоді при визначених межах зміни необхідного кута $0,61 \leq \alpha \leq 0,7$ (рад) і $0,57 \leq \alpha \leq 0,66$ (рад) встановлення диска відносно поздовжньої осі розташування коренеплодів $d_k = 12...15$ (см) (рис. 4.Д.3.1б додатка Д.3.1) знаходимо глибину ходу диска h , яка задовольняє умову (5.84) та становить $h \geq 7,8$ та $h \geq 8,6$ (см).

Крім того, для діаметра сферичного диска $D = 45$ см і умови $\alpha \leq 0,66$ рад. (рис. 4.Д.3.1в додатка Д.3.1) глибина ходу диска $h \geq 8,6$ см, а для діаметра $D = 40$ см і умови $\alpha \leq 0,7$ рад. – $h \geq 9,0$ см.

Приймаючи до уваги технологічні міркування, що раціональна (технологічна) ефективність роботи приводного вала АВТОКРО забезпечується при умові, коли площа обертання лопаті, або площа контакту (удару) лопаті по головці коренеплоду знаходиться під прямим (або близьким до нього) кутом відносно площини, яка проходить через зовнішню ріжучу крайку сферичного диска, можна записати, що кут β , який характеризує конструктивне встановлення осей, на яких розміщені очисні лопаті відносно осі очисного вала, буде дорівнювати куту атаки α диска або близьким до нього, тобто $\beta \cong \alpha$.

Виходячи з конструктивних (технологічних) міркувань та рис. 3.Д.3.1, додатка Д.3.1 можна записати, що технологічна відстань за відповідного кута атаки диска $OO_o = c \cong \sqrt{h_c^2 + R^2} + \Delta k \cos \alpha + 0,5d_n \cos \alpha$, де h_c – глибина сферичного диска, м; Δk – технологічний зазор між зовнішнім торцем ріжучої крайки сферичного диска та зовнішньою поверхнею очисного вала, м; $0,5d_n$ – діаметр приводного вала, м, який вибирається шляхом розрахунку умови міцності його роботи.

Тоді, горизонтальна координата розміщення центра O_o очисного вала визначається за формулою:

$$b_o \cong c \cos \alpha \cong \left[\sqrt{h_c^2 + 0,25D^2} + (\Delta k + 0,5d_n) \cos \alpha \right] \cos \alpha. \quad (5.109)$$

Відстань H та H_o , які визначають вертикальну координату розміщення центра O_o очисного вала, визначається за формулою:

$$H = r + l + h_k; \quad H_o = [R_o + (\Delta k' + r_n) \sin \alpha] \sin \alpha, \quad (5.110)$$

Таким чином, у результаті проведеного теоретичного аналізу технологічного процесу роботи АВТОКРО були встановлені такі значення його основних конструктивно-кінематичних параметрів: діаметр диска – $D = 0,45$ м; кутова швидкість обертання лопаті – $\omega_o = 60 \dots 65$ рад/с; кут атаки диска – $\alpha = 32 \dots 37^\circ$; кут встановлення осей барабана – $\beta \cong 30^\circ$; маса лопаті – $m = 0,22 \dots 0,25$ кг; кількість осей на барабані – $z_o = 4$ шт.

5. Узгоджують пропускну здатність АТОКРО з урахуванням загальної секундної подачі ВК та коефіцієнта сепарації η_{TTC} домішок проміжної TTC та подавального транспортера η_m :

$$dW_o / dt \geq dQ_2 \eta_c / dt, \quad (5.111)$$

де W_o – пропускну здатність АТОКРО, кг/с;

$\eta_c = \eta_{TTC} \eta_m$ – загальний коефіцієнт сепарації вороху.

Зміну пропускну здатності АТОКРО протягом часу t визначають за формулою:

$$\begin{aligned} \frac{dW_o}{dt} = & 0,125\pi\omega_o k_v \gamma_\epsilon \left(\sqrt[3]{-0,125 \frac{dQ_2}{dt} + \sqrt{\left(\frac{dQ_2}{dt}\right)^2 - 0,008(\pi\omega_o \psi k_v \gamma_\epsilon \operatorname{tg} \alpha_n)^3}} + \right. \\ & + \sqrt[3]{-0,125 \frac{dQ_2}{dt} - \sqrt{\left(\frac{dQ_2}{dt}\right)^2 - 0,008(\pi\omega_o \psi k_v \gamma_\epsilon \operatorname{tg} \alpha_n)^3}} \operatorname{tg} \alpha_n \times \\ & \times \left[0,016(\pi\omega_o \psi k_v \gamma_\epsilon \operatorname{tg} \alpha_n) - d^2 \right] \end{aligned} \quad , (5.112)$$

де ψ – коефіцієнт заповнення шнека;

γ_ϵ – об'ємна маса ВК, кг/м³;

d – діаметр труби барабана шнека, м.

6. Використовуючи наведені графічні номограми (додатки Д.2.1, Д.3.1), які побудовано згідно з визначеними числовими значеннями технологічних параметрів АВТОКРО і АТОКРО, встановлюють раціональні конструктивно-кінематичні параметри та режими роботи АКМ для конкретних умов збирання.

5.2. Розрахунок економічної ефективності застосування адаптованих коренезбиральних машин

Економічні показники, які характеризують ефективність застосування АКМ визначимо згідно викладень, що наведені у праці [263]. За базу під час проведення порівняння приймають показники аналога до модернізації технічного засобу [263], тобто у нашому випадку базовим аналогом є коренезбиральна машина МКК- 6.

Застосування АВТОКРО і АТОКРО в технологічній схемі базової машини МКК-6 призвело до покращення показників якості виконання технологічного процесу збирання кормових буряків, порівняно з базовою серійною машиною (див. табл. 4.7), при цьому загальна забрудненість вороху кормових буряків, порівняно з серійною машиною, зменшилась у 2,5 рази.

Згідно результатів порівняльних досліджень базової та модернізованої машини МКК-6 (додаток Г.1.1) наведено вихідні дані для розрахунку економічного ефекту роботи АКМ (табл. 5.1).

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показник	Базова машина	Модернізована машина
Площа поля, га	300	300
Урожайність коренеплодів, т/га	51,0	51,0
Робоча швидкість руху машини, м/с	1,5	1,5
Робоча ширина захвату машини, м	2,7	2,7
Продуктивність за годину основного часу, га/год.	1,2	1,2
Кількість обслуговуючого персоналу, чел.	1	1
Маса машини, кг	7800	7830
Ціна машини, грн.	780000	780000
Втрати коренеплодів, %	1,3	1,0
Річне планове завантаження машини, год.	300	300
Склад вороху зібраних коренеплодів, %:		
- коренеплоди	89,8	95,9
- домішки, всього	10,2	4,1

Загальний економічний ефект визначається як сума зменшення прямих експлуатаційних затрат і додаткового ефекту від експлуатації комбінованих викопувального та очисного робочих органів АКМ

$$E_{\text{заг}} = (П_{\text{б}} - П_{\text{м}}) - E_{\text{дод}}, \quad (5.113)$$

де $П_{\text{б}}$, $П_{\text{м}}$ – приведені експлуатаційні затрати базової і модернізованої машини грн/га;

$E_{\text{дод}}$ – додатковий ефект від експлуатації АКМ, грн/га.

У нашому випадку, згідно з табл. 4.6, модернізована машина переважає базову за показниками втрат коренеплодів і якості очищення вороху, тому

приймемо додатковий ефект від зменшення втрат кормових буряків і кількості домішок у викопаному воросі коренеплодів.

Приведені експлуатаційні затрати визначаються за формулою:

$$\Pi = e \cdot K + C, \quad (5.114)$$

де e – нормативний коефіцієнт ефективного використання капітальних вкладень ($e = 0,15$);

K – розмір капітальних вкладень, грн/га;

C – прямі експлуатаційні затрати, грн/га.

$$K = \frac{B_M}{W_3 T_M}, \quad (5.115)$$

де B_M – балансова вартість машини, грн;

T_M – річне планове завантаження машини, год;

W_3 – продуктивність змінного часу, га/год.

При цьому:

$$W_3 = W_O \tau = 0,1BV \tau, \quad (5.116)$$

де W_O – продуктивність основного часу, га/год;

τ – коефіцієнт ефективного використання часу зміни ($\tau = 0,8$);

B – робоча ширина захвату машини, м;

V – робоча швидкість поступального руху машини, км/год.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (5.117)$$

де C_1, C_2, C_3, C_4 – сума затрат на оплату праці, затрати на паливо-мастильні матеріали, затрати на реновацію машини, затрати на ремонт і технічне обслуговування машини, грн/га.

Складові (5.117) визначаються за формулою:

$$C_1 = \frac{\sum L_i C_i}{W_3}, \quad (5.118)$$

де L_i – кількість робітників відповідного класу зайнятих на цій роботі, люд.;

C_i – погодинна ставка робітника цього класу, грн./год. люд (3,6 грн/ год. люд);

$$C_2 = Nqn\Pi_{II}, \quad (5.119)$$

де n – коефіцієнт використання потужності двигуна машини ($n = 0,8$);

Π_{II} – комплексна вартість пального, грн./кг (7,0 грн/кг);

$$C_3 = \frac{B_M a_M}{W_3 T_M}; \quad (5.120)$$

де a_M – норма відрахувань на реновацію машини ($a_M = 16,6\%$ або 0,166);

$$C_4 = \frac{B_M b_M}{W_3 T_M}, \quad (5.121)$$

де b_M – норма відрахувань на ремонт та технічне обслуговування машини ($b_M = 15\%$, або 0,15).

Додатково визначимо питому матеріалоємність процесу

$$M_n = \frac{M_T + M_M}{W_O}, \quad (5.122)$$

або питому матеріалоємність на одиницю ширини захвату

$$M'_n = \frac{M_T + M_M}{B}. \quad (5.123)$$

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E_P = E_{заг} Q_M. \quad (5.124)$$

Додатковий економічний ефект, який забезпечується АВТОКРО і АТОКРО, є наслідком зменшення втрат коренеплодів і видатків на

транспортування викопаного вороху коренеплодів до ферми або кагатів. Функціональні показники роботи модернізованої машини забезпечують перевезення більш чистого ВК, що сприяє зниженню транспортних видатків, а також витрат на зворотній вивіз ґрунту в поле. Підрахунок економічних показників проводився при транспортуванні ВК до ферми або до кагатів на відстань 5 км.

Економічний ефект E_{ϵ} (грн/га) від зменшення втрат коренеплодів при їх викопуванні визначається за формулою

$$E_{\epsilon} = W_3 T_M U_k a c, \quad (5.125)$$

де U_k – урожайність коренеплодів, т/га;

a – питоме збільшення збирання буряків, $a = (1,3 - 1,0) / 100\% = 0,003$;

c – закупівельна ціна буряків, грн/т, $c = 98$ грн/т.

Економічний ефект E'_{ϵ} (грн/га) від зменшення втрат коренеплодів на 1 га зібраної площі складає

$$E'_{\epsilon} = E_{\epsilon} / W_3 T_M. \quad (5.126)$$

Економічний ефект E'_3 (грн./га) від зниження забрудненості вороху коренеплодів на площі 1 га складає

$$E'_3 = \Pi_{\text{ит.б}} - \Pi_{\text{ит.м}}, \quad (5.127)$$

де $\Pi_{\text{ит.б}}, \Pi_{\text{ит.м}}$ – питомі приведені витрати базової та удосконаленої машини на 1 га зібраної площі, грн./га, які визначаються за (5.1).

Продуктивність за годину змінного часу $W_{3.6}$ (т/год) на відвезенні коренеплодів від коренезбиральної машини

$$W_{3.6} = \frac{B_n}{T_{\text{ц}}}, \quad (5.128)$$

де B_n – вантажездатність причепа, т;

$T_{\text{ц}}$ – час одного циклу при відвезенні коренеплодів, год.

Вантажездатність причепа B_n (т) в тонах чистої продукції коренеплодів

$$B_n = \frac{q}{100} \chi_i, \quad (5.129)$$

де q – паспортна вантажездатність причепа, т;

χ_i – чистота вороху при збиранні базовою і модернізованою машинами.

Вважаємо, що перевезення вороху здійснюється трактором МТЗ-82 з причепом 2ПТС-4, паспортна вантажездатність якого $q = 4$ т.

Оскільки у табл. 5.1 забрудненість коренеплодів наведена у відсотках, то $\chi_i = 100\% - Z_{\text{с}}$, де $Z_{\text{с}}$ – забрудненість вороху коренеплодів, %.

Тоді згідно (5.129)

$$B_{n.\text{б}} = 4 \cdot (100 - 8,6) / 100 = 3,66 \text{ (т)}; B_{n.\text{м}} = 4 \cdot (100 - 4,4) / 100 = 3,82 \text{ (т)}.$$

Час одного циклу $T_{\text{ц}}$ (год.) при відвезенні коренеплодів:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{нав}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{вив}} + t_{\text{х.пер}}, \quad (5.130)$$

де $t_{\text{нав}}$ – час навантаження транспортного засобу, год;

$t_{\text{пер}}$ – час перевезення коренеплодів до місця їх призначення, год;

$t_{\text{вив}}$ – час вивантаження коренеплодів, год;

$t_{\text{х.пер}}$ – час холостого переїзду, год.

Час навантаження транспортного засобу

$$t_{\text{нав}} = \frac{B_n}{U_k \cdot W_3}, \quad (5.131)$$

або з урахуванням (5.126)

$$t_{\text{нав.б}} = 3,66 / 51,0 \cdot 1,2 = 0,059 \text{ (год)}; t_{\text{нав.м}} = 3,82 / 51,0 \cdot 1,2 = 0,062 \text{ (год)}.$$

Приймаємо середню транспортну швидкість трактора з причепом при перевезенні коренеплодів до місця призначення $V_{пер} = 15,0$ км/год., а швидкість холостого переїзду – $V_{х.пер} = 20,0$ км/год.

Тоді

$$t_{пер.б} = t_{пер.м} = 0,33 \text{ (год)}; t_{х.пер.б} = t_{х.пер.м} = 0,25 \text{ (год)}.$$

Час вивантаження коренеплодів $t_{вив}$ приймаємо згідно [263], при цьому $t_{вив.б} = t_{вив.м} = 0,15$ (год).

Час одного циклу при відвезенні коренеплодів згідно (5.130) становить

$$T_{ц.б} = 0,059 + 0,33 + 0,15 + 0,25 = 0,789 \text{ (год)};$$

$$T_{ц.м} = 0,062 + 0,33 + 0,15 + 0,25 = 0,792 \text{ (год)}.$$

Продуктивність за годину змінного часу на відвезенні коренеплодів згідно з (5.128) становить

$$W_{з.в.б} = 3,66 / 0,789 = 4,64 \text{ (т/год)}; W_{з.в.м} = 3,82 / 0,792 = 4,82 \text{ (т/год)}.$$

Необхідну кількість транспортних засобів k (шт.) для вивезення коренеплодів з площі 1 га визначаємо за залежністю

$$k = \frac{U_k}{B_n}, \quad (5.132)$$

$$k_{б} = 51,0 / 3,66 = 13,94 \text{ (шт.)}; k_{м} = 51,0 / 3,82 = 13,3 \text{ (шт.)}.$$

Приймаємо відповідно $k_{б} = 14$ шт.; $k_{м} = 13$ шт.

Заробітну плату працівників C'_1 на операції вивезення коренеплодів з площі 1 га визначаємо за формулою

$$C'_1 = (\sum N \cdot r_j) / (T_{ц} \cdot K_{зм}), \quad (5.133)$$

де N – кількість механізаторів, які зайняті на вивезенні, чел.;

r_j – погодинна ставка механізатора, грн./год;

$K_{зм}$ – коефіцієнт використання експлуатаційного часу.

Кількість механізаторів N приймаємо згідно необхідної кількості транспортних засобі k , погодинну ставку механізатора $r_j = 2,8$ грн/га та коефіцієнт

використання експлуатаційного часу $K_{зм} = 0,7$ згідно з даними [263].

$$C'_{1\sigma} = (14 \cdot 2,8) / (0,789 \cdot 0,7) = 70,98 \text{ (грн/га);}$$

$$C'_{1м} = (13 \cdot 2,8) / (0,792 \cdot 0,7) = 65,66 \text{ (грн/га).}$$

Питомі витрати на реновацію транспортних засобів C'_3

$$C'_3 = \frac{B_a \cdot a_T \cdot U_k}{T_{mp} \cdot W_{з.г}}, \quad (5.134)$$

де B_a – балансова вартість транспортного агрегату, грн.;

a_T – нормативний коефіцієнт амортизаційних відрахувань на реновацію;

T_{mp} – нормативне річне завантаження трактора на перевезенні, год.

Балансову вартість агрегату МТЗ-82 + 2ПТС-4 $B_a = 48000$ грн. приймаємо згідно [263]; $a_T = 0,16$ та $T_{mp} = 1000$ год згідно з даними [263].

$$C'_{3\sigma} = 48000 \cdot 0,16 \cdot 51,0 / 0,789 \cdot 1000 = 496,43 \text{ (грн/га);}$$

$$C'_{3м} = 48000 \cdot 0,16 \cdot 51,0 / 0,792 \cdot 1000 = 494,55 \text{ (грн/га).}$$

Питомі відрахування C'_4 на капітальний і поточний ремонти та планове технічне обслуговування

$$C'_4 = \frac{B_n (R_k + R_n) \cdot U_k}{T_{mp} \cdot W_{з.г}}, \quad (5.135)$$

де R_k – нормативний коефіцієнт щорічних відрахувань на капітальний ремонт;

R_n – нормативний коефіцієнт щорічних відрахувань на поточний ремонт.

Суму нормативних коефіцієнтів щорічних відрахувань на капітальний і поточний ремонти приймаємо згідно з даними [263]

$$(R_k + R_n) = 0,34$$

$$C'_{4\sigma} = 48000 \cdot 0,34 \cdot 51,0 / 4,64 \cdot 1000 = 179,38 \text{ (грн/га);}$$

$$C'_{4м} = 48000 \cdot 0,34 \cdot 51,0 / 4,82 \cdot 1000 = 172,68 \text{ (грн/га).}$$

Питомі затрати на паливо-мастильні матеріали C'_2

$$C'_2 = \frac{N_{\partial} \cdot q' \cdot C_n \cdot n \cdot k \cdot T_u}{100}, \quad (5.136)$$

де N_{∂} – номінальна потужність двигуна трактора, кВт;

q' – питомі витрати палива, кг/кВт год.;

C_n – вартість дизельного палива, грн./кг;

n – середній відсоток використання потужності трактора, %.

Номінальну потужність двигуна трактора МТЗ-82 ($N_{\partial} = 51,5$ кВт), питомі витрати палива ($q' = 0,26$ кг/кВт год.) і середній відсоток використання потужності трактора ($n = 80$ %) приймаємо згідно даних [263], а вартість дизельного пального ($C_n = 7,0$ грн/кг) приймаємо станом на 01.05.2013 р.

$$C'_{2\partial} = 51,5 \cdot 0,26 \cdot 7,0 \cdot 80 \cdot 14 \cdot 0,789 / 100 = 828,27 \text{ (грн/га);}$$

$$C'_{2м} = 51,5 \cdot 0,26 \cdot 7,0 \cdot 80 \cdot 13 \cdot 0,792 / 100 = 772,03 \text{ (грн/га).}$$

Прямі експлуатаційні видатки C' згідно (5.5) становлять

$$C'_{\partial} = 70,98 + 496,43 + 179,38 + 828,27 = 1575,06 \text{ (грн/га);}$$

$$C'_{м} = 65,66 + 494,55 + 172,68 + 772,03 = 1504,92 \text{ (грн/га).}$$

Питомі капіталовкладення K' будуть дорівнювати

$$K' = B_a \cdot U_k / W_{з.в} \cdot T_{mp}, \quad (5.137)$$

$$K'_{\partial} = 48000 \cdot 51,0 / 4,64 \cdot 1000 = 527,58 \text{ (грн/га);}$$

$$K'_{м} = 48000 \cdot 51,0 / 4,82 \cdot 1000 = 507,88 \text{ (грн/га).}$$

Приведені витрати на 1 гектар площі Π' згідно (5.2) становлять

$$\Pi'_{\partial} = 0,15 \cdot 527,58 + 1575,06 = 1654,2 \text{ (грн/га);}$$

$$\Pi'_{м} = 0,15 \cdot 507,88 + 1504,92 = 1581,1 \text{ (грн/га).}$$

Економічний ефект $E'_з$ від зниження забрудненості вороху коренеплодів на площі 1 га згідно (5.15) становить

$$E'_з = 1654,2 - 1581,1 = 73,1 \text{ (грн/га).}$$

Річний економічний ефект E_3 (грн) складає

$$E_3 = E'_3 \cdot W_{3..M} \cdot T_p, \quad (5.138)$$

де T_p – річне планове завантаження машини, год.

$$E_3 = 73,1 \cdot 1,2 \cdot 300 = 26316,0 \text{ (грн)}.$$

Економічний ефект E_6 від зменшення втрат коренеплодів при їх викопуванні визначаємо згідно (5.126)

Таблиця 5.2

Показники розрахунку економічної ефективності
використання АКМ

Показник	Значення показника		Ступінь показника, $\pm \%$
	Базова	Модерн.	
Продуктивність за 1 год змінного часу на вивезені коренеплодів, т/год	4,64	4,82	3,9
Кількість транспортних засобів для вивезення коренеплодів з 1 га, шт.	14	13	7,1
Заробітна плата працівників на вивезені коренеплодів з 1 га, грн/га	70,98	65,66	8,1
Питомі витрати на реновацію транспортних засобів, грн/га	496,43	494,55	0,4
Питомі відрахування на капітальний ремонт і технічне обслуговування, грн/га	179,38	172,68	3,9
Питомі затрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га	828,27	772,03	7,3
Прямі експлуатаційні видатки, грн/га	1575,06	1504,92	4,7
Питомі капіталовкладення, грн./га	572,58	507,88	12,7
Приведені витрати на 1 га, грн/га	1654,2	1581,1	4,6
Економічний ефект від зниження забрудненості на 1га, грн/га	-	73,1	-
Річний економічний ефект, грн	-	23316,0	-
Економічний ефект від зменшення втрат коренеплодів, грн	-	5397,84	-
Економічний ефект від пошкоджень на 1 га, грн	-	14,99	-
Загальний економічний ефект за 1 рік експлуатації модернізованої машини, грн	-	31713,84	-
Загальний економічний ефект на 1 га, грн	-	105,7	-

$$E_{\epsilon} = 1,2 \cdot 300 \cdot 51,0 \cdot 0,003 \cdot 98,0 = 5397,84 \text{ (грн)}.$$

Економічний ефект E'_{ϵ} від зменшення втрат коренеплодів на площі 1 га згідно (5.126) становить

$$E_{\epsilon} = 5397,84 / 1,2 \cdot 300 = 14,99 \text{ (грн/га)}.$$

Загальний економічний ефект E_p (грн) за рік експлуатації удосконаленої машини становить

$$E_p = E_z + E_{\epsilon}, \quad (5.139)$$

$$E_p = 26316 + 5397,84 = 31713,84 \text{ (грн)}.$$

Загальний економічний ефект на площі 1 га E'_p (грн./га) становить

$$E'_p = E_p / W_m \cdot T_p, \quad (5.140)$$

$$E'_p = 31713,84 / 1 \cdot 300 = 105,7 \text{ (грн./га)}.$$

Результати розрахунку економічних показників зведені у табл. 5.2.

Таким чином, застосування удосконаленої коренезбиральної машини, яку обладнано АВТОКРО і АТОКРО, порівняно з базовою машиною МКК-6 є економічно ефективним і доцільним.

5.3. Попередні висновки по розділу

5.1. Зміна прогнозування ймовірної маси налиплого ґрунту m_{zp} на просторових формах поверхонь тіл коренеплодів на початку їх викопування описується детермінованою математичною моделлю, яка характеризує залежність зміни m_{zp} від агробіологічних характеристик коренеплодів і фізичного стану ґрунту, при цьому максимум наведених функції досягається при $k_{H_1L_k} \rightarrow \max$, $k_w \rightarrow \min$, тобто відповідно при $k_{H_1L_k} = 1$ і $k_w = 0,7$ ($W_{zp} = 27\%$).

5.2. Із збільшенням коефіцієнта відношення $k_{H_1L_k}$ (глибини залягання коренеплодів у ґрунті) та товщини шару налиплого ґрунту δ , прогнозована ймовірна маса налиплого ґрунту m_{ep} зростає, причому зміна залежності $m_{ep} = f(k_{H_1L_k})$ має характер раціональної функції другого порядку, а зміна залежності $m_{ep} = f(\delta)$ відбувається за кубічною функцією. Інтенсивність прогнозування значного приросту m_{ep} настає при значеннях $k_{H_1L_k} > 0,5$; $\delta > 0,5$ см і прогнозовано буде становити $m_{ep,max} \approx 0,8$ кг при значенні $k_{H_1L_k} = 1 = \max$ і $\delta = 0,7$ см при оптимальній вологості ґрунту ($k_w = 1$) для $L_k = 20$ см, $D_k = 15$ см, що характерно для коренеплодів ЦБ і М, які залягають повністю у ґрунті на довжину L_k .

5.3. Відповідно, при збільшенні числового значення коефіцієнта вологості ґрунту k_w , або відповідного зменшення вологості ґрунту W_{ep} , прогнозована ймовірна маса налиплого ґрунту m_{ep} зменшується за зворотно-пропорційною функцією, причому інтенсивність прогнозованого її зменшення настає при значеннях $k_w > 0,8$, що відповідає вологості ґрунту 21 % і прогнозовано буде становити $m_{ep,max} \approx 0,8$ кг при максимальному значенні $k_{H_1L_k} = 1$ і $k_w = 0,7$ ($W_{ep} = 27$ %). Нижнє значення критерію k_w оптимальності максимуму функції обмежене функціональною можливістю виконання технологічного процесу роботи КМ згідно вихідних вимог. Для середніх значень розмірних характеристик коренеплодів КБ – загальної довжини $L_k = 20$ см, діаметра $D_k = 15$ см прогнозоване максимальне значення маси налиплого ґрунту буде становити $m_{ep,max} \cong 0,2...0,4$ кг при $k_{H_1L_k} = 0,5$; $\delta = 0,5$ см і $k_w = 1$ (при оптимальній вологості ґрунту $W_{ep} = 19$ %).

5.4. Аналіз поверхні та її двомірного перерізу залежності зміни товщини шару налиплого ґрунту δ показує, що при збільшенні коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ зміна ймовірної товщини шару налиплого ґрунту δ має неоднозначний характер і в значній мірі залежить від розмірних характеристик

коренеплодів, або маси налиплого ґрунту на їх поверхнях – у деякий початковий момент δ поступово збільшується від 0,4 до 1,0 см у межах зміни коефіцієнта співвідношення $0,4 \leq k_{H_1 L_k} \leq 0,8$, причому характер приросту протікає неоднозначно для різних значень маси налиплого ґрунту m_{zp} і знаходиться в межах 0,03...0,3 см. Подальше збільшення $k_{H_1 L_k}$ на величину 0,7...1,1 або глибини залягання коренеплодів призводить до значного, в середньому на 0,4...0,6 (см) зменшення δ з подальшою її відносною стабілізацією в межах 0,1...0,25 (см).

5.5. Подальше підвищення показників якості роботи викопувальних робочих органів, які призначені для збирання коренеплодів можливе за рахунок інтенсифікації динамічної дії поверхонь робочих органів на компоненти вороху шляхом конструктивного удосконалення викопувального робочого органу, або розробки адаптованих викопувальних транспортно-очисних комбінованих робочих органів.

5.6. Додатковий економічний ефект, який забезпечується АВТОКРО і АТОКРО, є наслідком зменшення втрат коренеплодів і підвищення показників якості роботи АКМ та видатків на транспортування викопаного вороху коренеплодів до місця призначення. Функціональні показники роботи модернізованої машини забезпечують перевезення більш чистого ВК, що сприяє зниженню транспортних видатків, а також витрат на зворотній вивіз ґрунту в поле.

5.6. Результати розрахунку економічної ефективності розробленої конструкції удосконаленої коренезбиральної машини МКК-6 свідчать про доцільність її практичного використання, при цьому загальний економічний ефект за 1 рік експлуатації удосконаленої коренезбиральної машини МКК-6 від підвищення її функціональних показників становить 31713,83 грн, або 105,7 грн на 1 га.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-технічну проблему, яка полягає в розробці аналітично-експериментальних методів оптимізації технологічних, конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи адаптованої коренезбиральної машини з урахуванням реальних умов експлуатації, зокрема агрофізичних характеристик коренеплодів і ґрунтово-кліматичних умов збирання.

2. Розроблено детерміновані математичні моделі, які характеризують взаємозв'язок зміни надходження загальної подачі домішок ВК і подач складових компонента домішок на протязі часу залежно від параметрів АВТОКРО, розмірно-масових характеристик формалізованих форм коренеплодів і умов роботи адаптованої коренезбиральної машини, при цьому загальна секундна подача ВК та домішок змінюється в межах 20...30 і 3...17 кг/с за швидкості руху викопувального диска 1,6 м/с та його діаметра 0,45 м.

При збільшенні урожайності коренеплодів із 100 до 700 ц/га загальна секундна подача домішок зменшується в незначних межах – у середньому на 10 кг/с, при цьому існує тісний прямо пропорційний зв'язок зміни секундних подач складових компонентів ВК залежно від зміни швидкості руху АВТОКРО, кількості рядків, урожайності коренеплодів і гички.

3. Допустима кутова швидкість обертання лопаті приводного вала, яка забезпечує раціональну роботу АВТОКРО для умови непошкодження коренеплодів, перебуває в діапазоні $[\omega_k] \leq 60...65$ рад/с для радіуса описаного кола лопаті $R_k \leq 0,25$ м, маси лопаті $0,22 \leq m \leq 0,25$ кг, діаметра коренеплодів $d_k = 0,1...0,2$ м.

4. Встановлено, що кут відбивання коренеплодів $\gamma = 0$, або коли напрямок вектора швидкості співудару $\vec{V}_a$ коренеплоду з витком шнека співпадає з напрямком осьової швидкості переміщення витків шнека $\vec{V}_o$, функціонально виконується для $0,4 \leq D \leq 0,7$ м, $7 \leq \omega_o \leq 12$ (рад/с) і значеннях: $k_v = 0,7$; $V_m = 1,6$

м/с; $\alpha_o = \pi/3$ рад, $\alpha_n = \pi/6$ рад.

5. У процесі аналізу співудару коренеплоду з витком шнека встановлено, що значення коефіцієнта динамічного ефекту $K_{II} \leq 1,0$ виконується за наступних співвідношень параметрів АТОКРО: $\omega_o \leq 11$ рад/с та встановленні шнека діаметром $D = 0,6$ м під кутом $\pi/6 \leq \alpha_o \leq \pi/2$ (рад); $D = 0,8$ м, $\alpha_o = \pi/3$ рад, $\omega_o \leq 9$ рад/с; $\omega_o = 15$ рад/с, $D \leq 0,45$ м, $\alpha_o = \pi/6$ рад.

6. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що коефіцієнт динамічного ефекту роботи АВТОКРО $K_A^{(e)}$ перебуває в межах $0,72 \leq K_A^{(e)} \leq 0,94$, а складових коефіцієнтів компонента домішок $K_{2\rho}^{(e)}$, $K_{2p}^{(e)}$ – у межах $0,6 \dots 0,8$; $0,3 \dots 0,5$. Мінімальне значення коефіцієнта $K_A^{(e)}$, тобто максимальна ефективність технологічного процесу відокремлення домішок від викопаного ВК досягається за $n_k \geq 600$ об/хв і $V_k \geq 1,5$ м/с, при цьому загальна маса домішок вороху ВК зменшується у середньому в 1,4 рази, а маси складових компонента домішок – в 1,6 і 2 рази.

7. Констатовано, що існує пропорційний функціональний зв'язок зміни секундних подач складових компонентів ВК залежно від рівнів варіювання факторами V_k , n_k : залежно від зміни V_k секундні подачі $Q_{2i}^{(e)}$ складових компонентів ВК зростають прямо пропорційно зміні V_k і навпаки – збільшення n_k призводить до зворотного характеру зменшення секундних подач за винятком зміни секундної подачі коренеплодів $Q_{2k}^{(e)}$, яка адекватна функціональному характеру зміни $K_k^{(e)}$, чи співпадає з ним.

8. Визначено, що раціональне значення кута відбивання коренеплоду $\gamma^{(e)} = 0$ досягається за встановлення шнека відносно напрямку та значення $V_k = 1,5$ м/с під кутом $65^\circ \leq \alpha_o \leq 75^\circ$ та $D \geq 0,7$ м, а у межах зміни $55^\circ \leq \alpha_o \leq 85^\circ$ та кутовій швидкості $7 \leq \omega_o \leq 15$ (рад/с) для $D = 0,6$ м його значення не перевищує 10° .

Розбіжність теоретичних та експериментальних значень кута відбивання

коренеплоду перебуває в межах 7...16 %.

9. Встановлено, що конструктивно-кінематичні параметри шнека АТОКРО, які задовольняють умову $K_{II}^e \leq 1$ або забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів, що не виходять за межі, встановлених згідно з агротехнічними вимогами до коренезбиральних машин, функціонально забезпечуються за кутової швидкості $7 \leq \omega_0 \leq 12$ (рад/с) і відповідних значень діаметра шнека $D = 0,8$ і $D \leq 0,4$ (м). Кут встановлення шнека α_0 відносно напрямку руху коренеплоду в межах дії фактора $40^\circ \leq \alpha_0 \leq 90^\circ$ суттєво не впливає на ступінь зміни пошкодження коренеплодів – значення K_{II}^e перебуває в межах 0,8...0,82. Розбіжність аналітичних і емпіричних значень коефіцієнта динамічного ефекту роботи АТОКРО у середньому становить 9...17 %.

10. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень рекомендовано такі раціональні параметри АВТОКРО та АТОКРО: діаметр викопувального диска $D = 0,45$ м; кут атаки диска $\alpha = 30^\circ$; глибина ходу диска $h = 0,07...0,09$ м; частота обертання приводного вала $n_0 = 600...660$ об/хв, 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 – 30° ; висота витка шнека – 0,25 м.

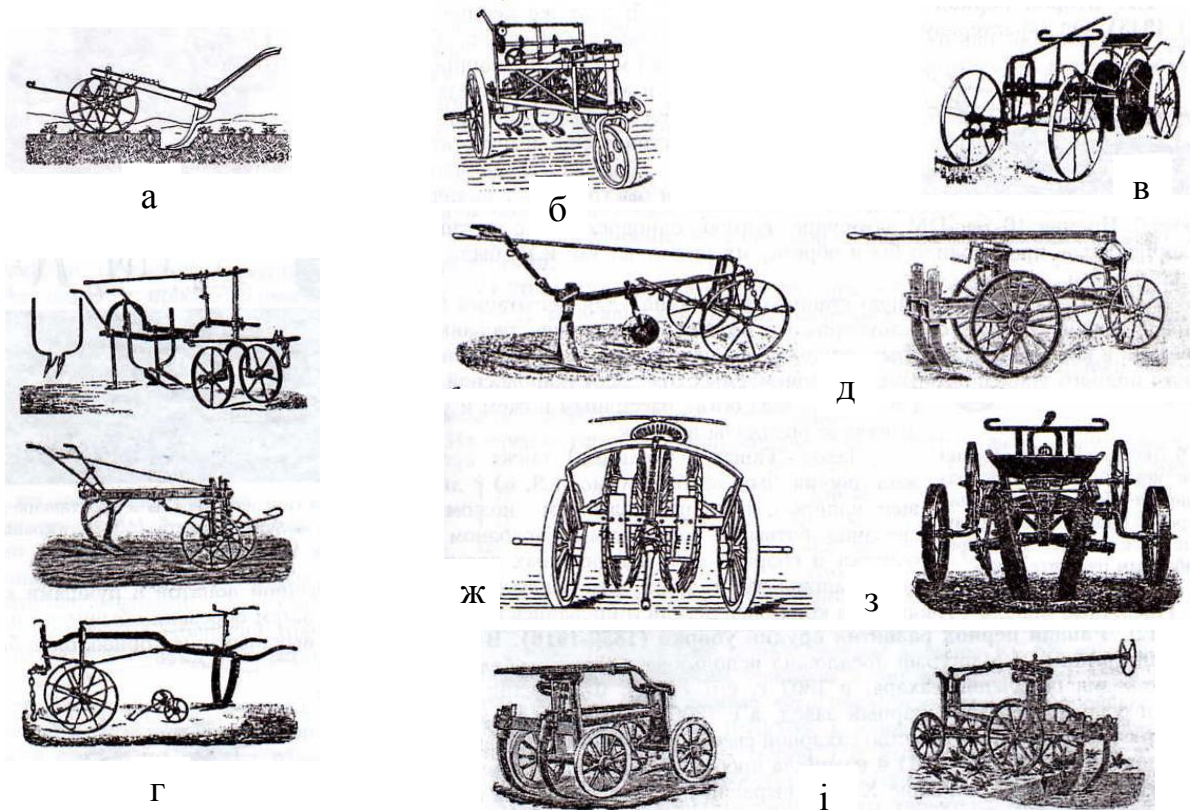
11. Порівняльні польові дослідження показали, що адаптована коренезбиральна машина забезпечує зниження загальної кількості домішок у воросі зібраних коренеплодів у 2,5 раза, у тому числі вільного ґрунту – у 2,5 раза, налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів у 3 рази, залишків гички на головках коренеплодів у 7 разів порівняно з серійною машиною.

На основі проведених досліджень здійснено модернізацію очисної системи коренезбиральних комбайнів КС-6Б-10 «Тернопіль» і КБС-6 «Збруч». Результати досліджень прийняті ВАТ «БОРЕКС» для розроблення нових і вдосконалення наявних коренезбиральних машин. Загальний економічний ефект за 1 рік експлуатації адаптованої коренезбиральної машини від підвищення її функціональних показників становить 31713,83 грн, або 105,7 грн на 1 га.

ДОДАТКИ

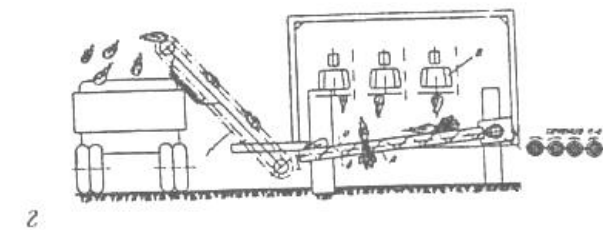
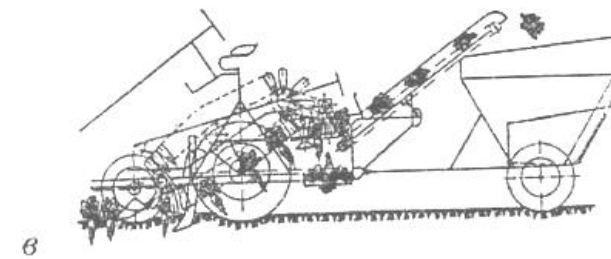
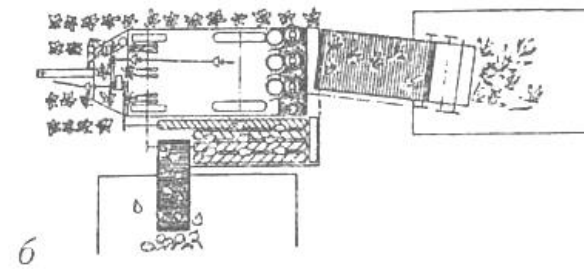
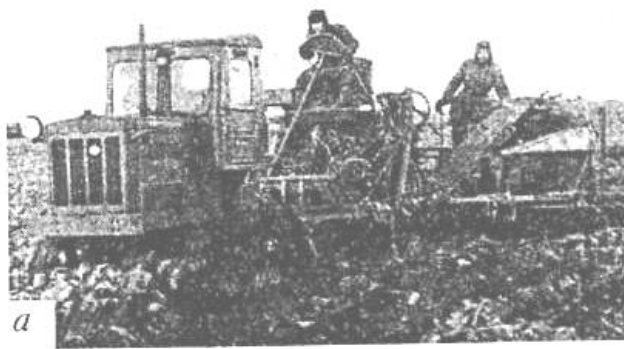
Додаток А.1.1

Кінні знаряддя для викопування коренеплодів



а – однорядний німецький плуг-бурякопідіймач Р. Сака; б – дворядний
 бурякокопач Лааса; в – дисковий коренекопач 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

Додаток А.2.1



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

Додаток А.3.1

Загальний вигляд модернізованих машин

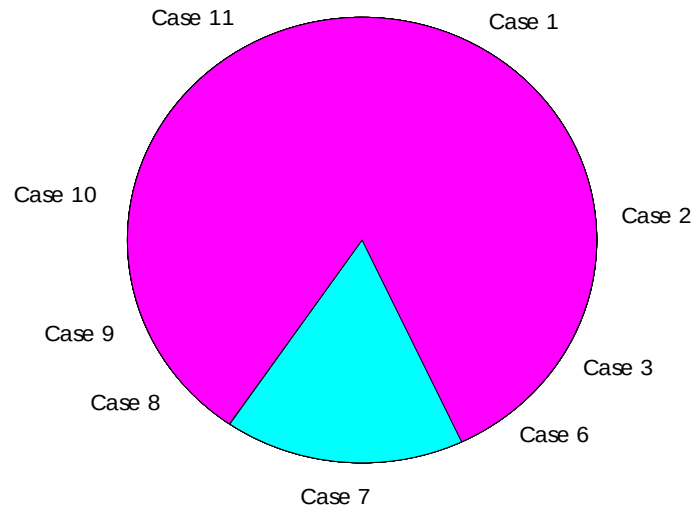


Додаток А 4.1

Структурні показники збирання площ цукрових буряків (%)
у країнах Західної Європи до 1976 р.

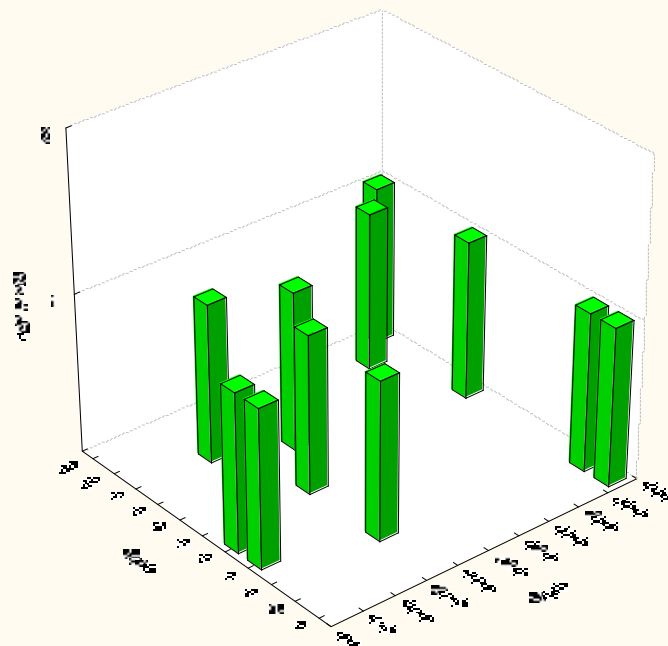
- однофазна технологія збирання коренеплодів однорядними машинами

Круговая диаграмма (Spreadsheet1 10v*11c)



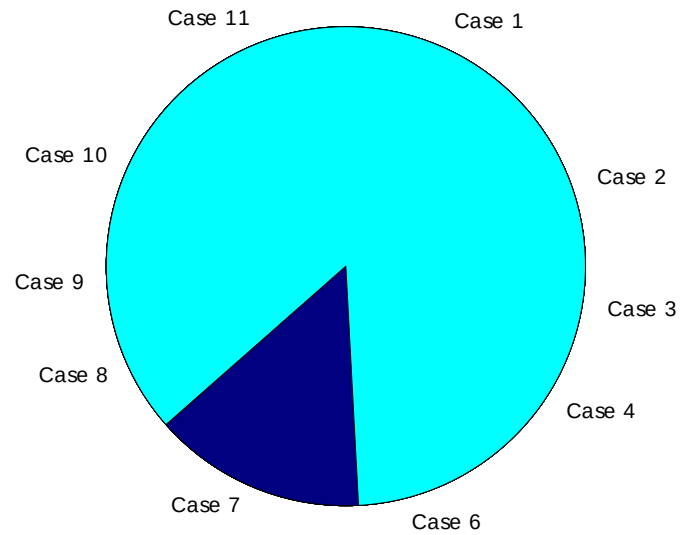
Var5

Bivariate Histogram (Spreadsheet1 10v*11c)



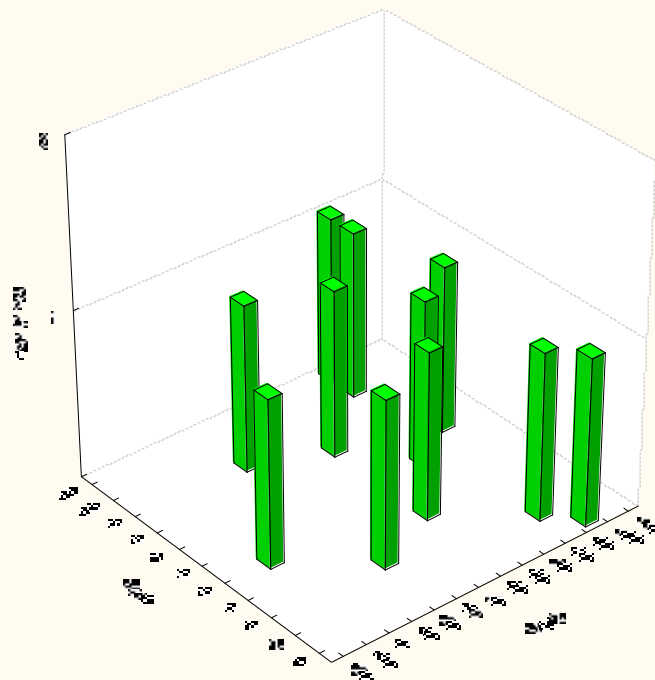
- однофазна технологія збирання коренеплодів одно- та дворядними машинами

Круговая диаграмма (Spreadsheet1 10v*11c)



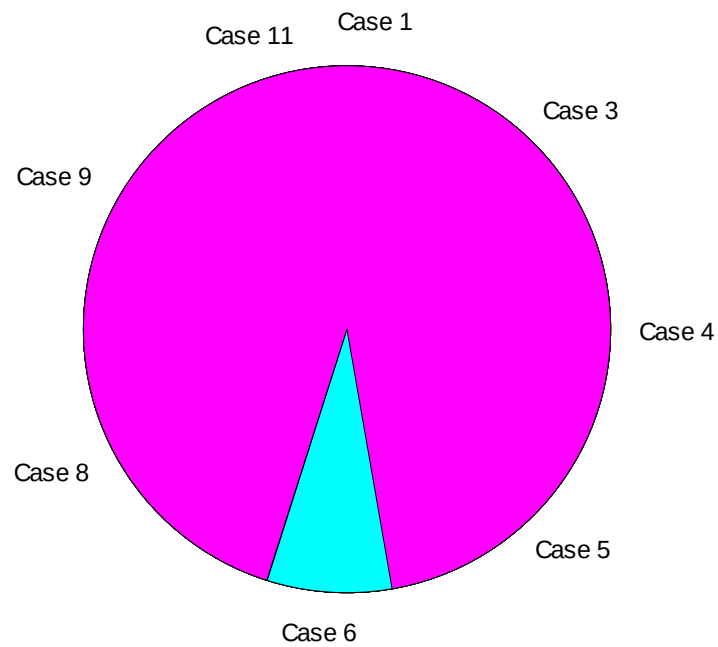
Var2

Bivariate Histogram (Spreadsheet1 10v*11c)



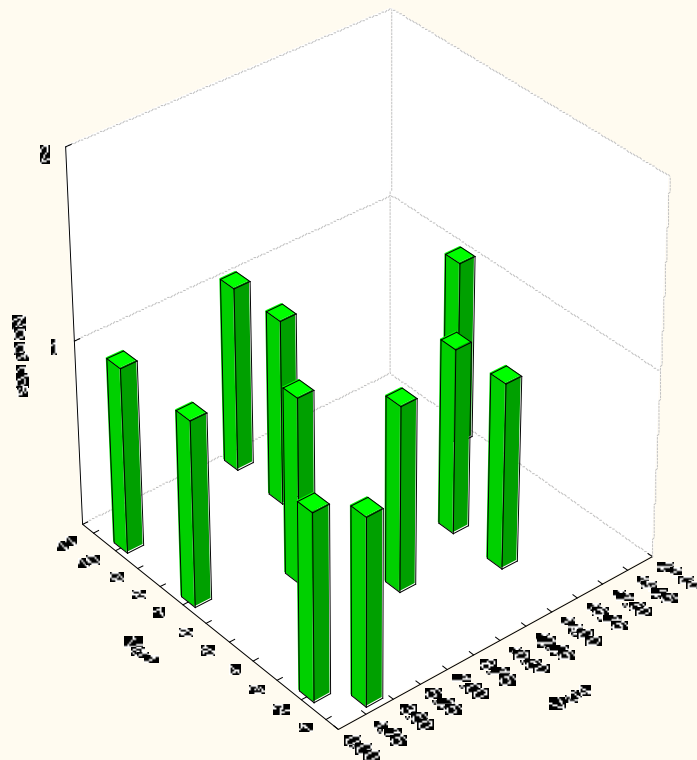
- двофазна технологія збирання

Круговая диаграмма (Spreadsheet1 10v*11c)



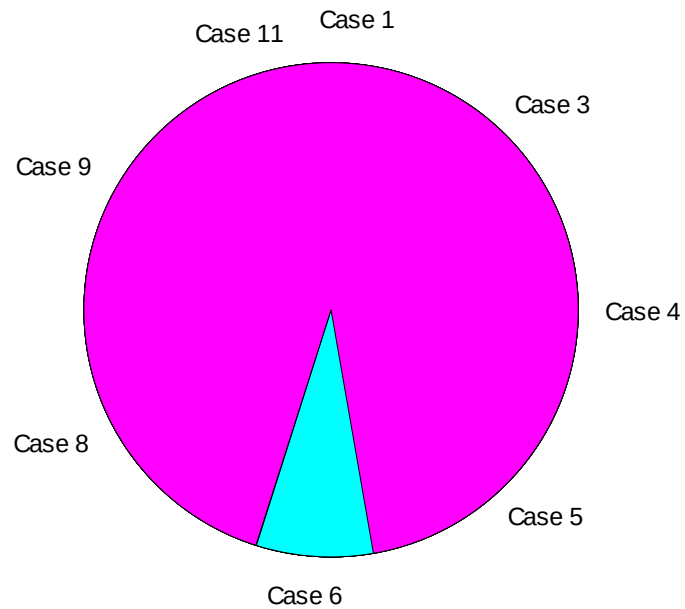
Var4

Bivariate Histogram (Spreadsheet1 10v*11c)



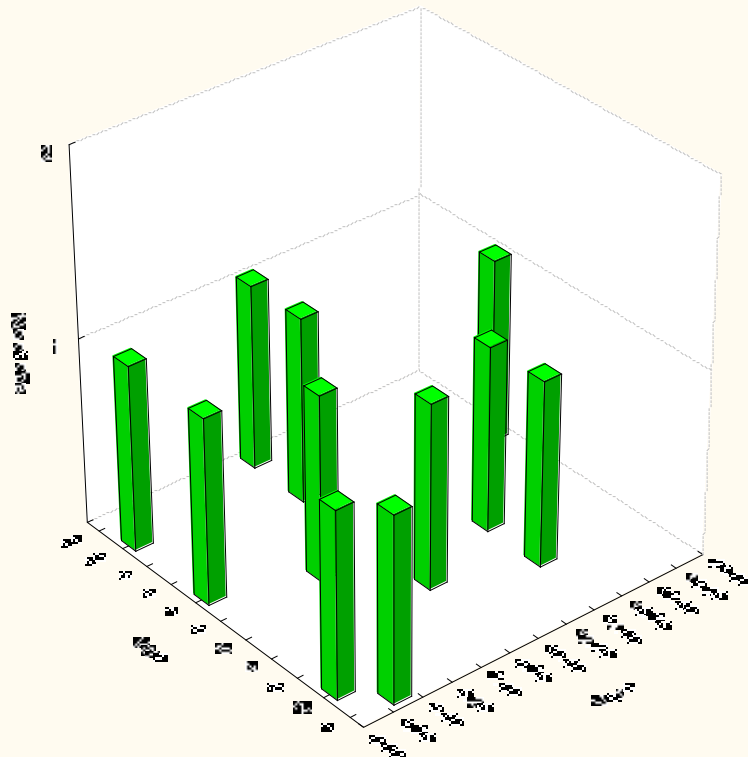
- трифазна технологія збирання

Круговая диаграмма (Spreadsheet1 10v*11c)



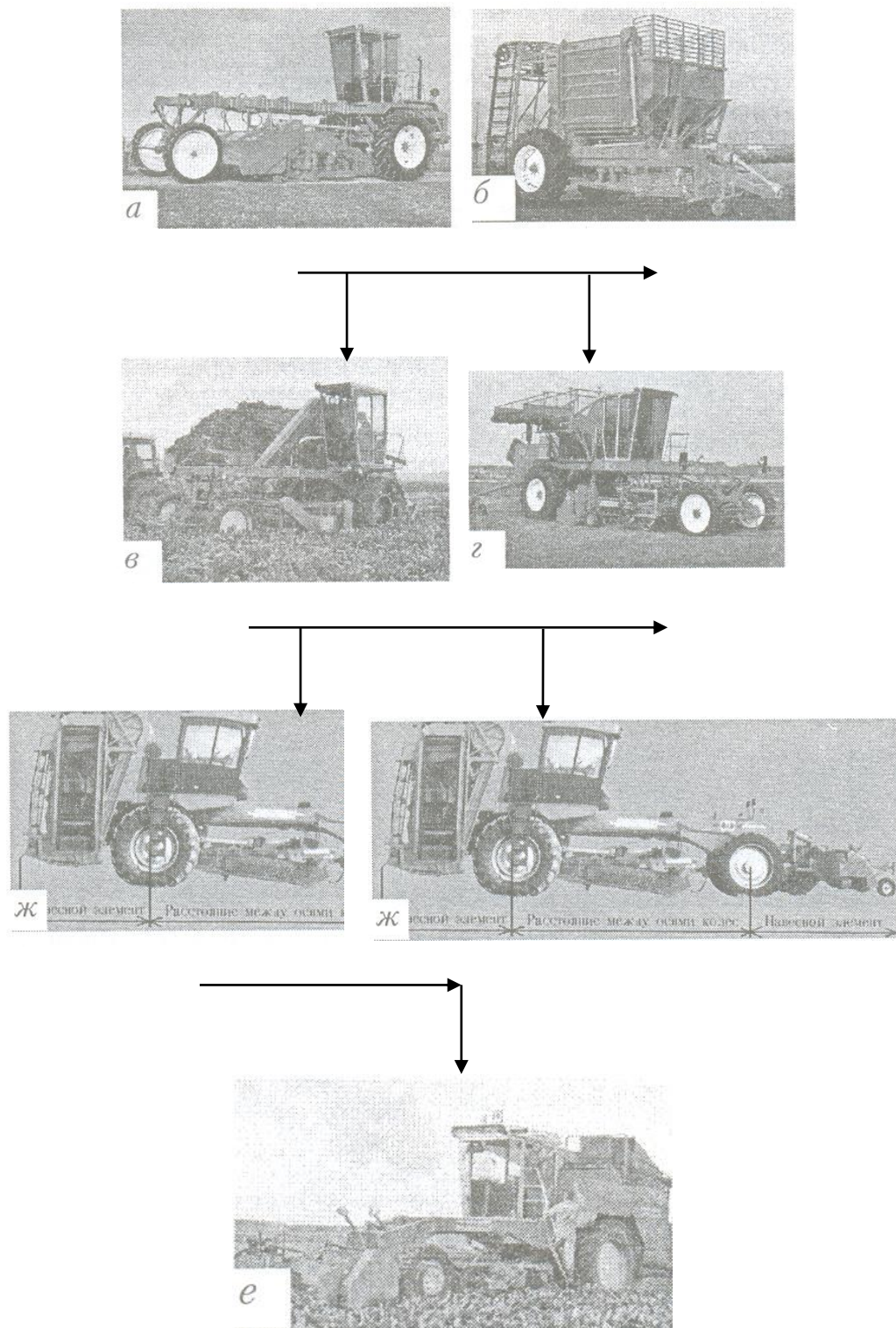
Var4

Bivariate Histogram (Spreadsheet1 10v*11c)



1 – ФРН; 2 – Австрія; 3 – Бельгія; 4 – Данія; 5 – Франція; 6 – Великобританія;
7 – Ірландія; 8 – Італія; 9 – Голландія; 10 – Швеція; 11 – Швейцарія

Конструктивно-компонувальний розвиток
самохідних 3-ох і 4-ох рядних збиральних машин



Етапи еволюції конструктивної зовнішності СБК
фірми “VERVATER”, Нідерланди



1974 рік

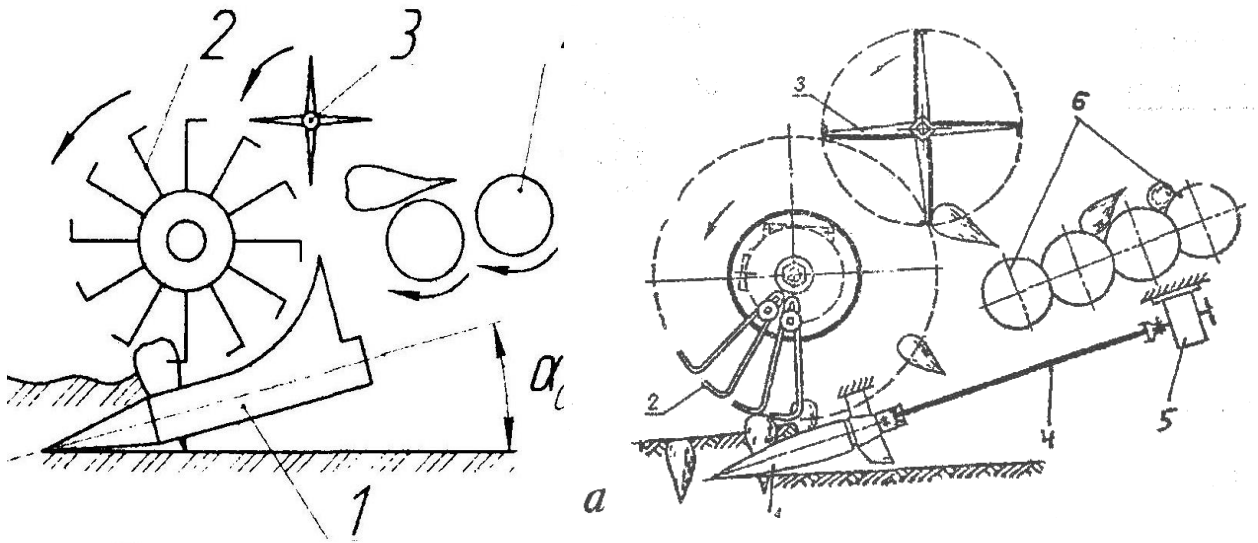


1989 рік



2000 рік

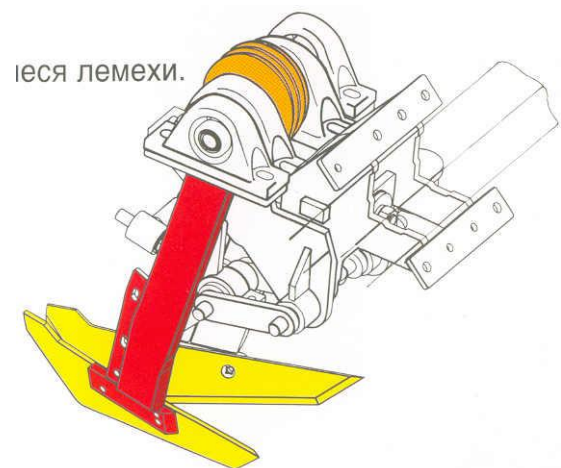
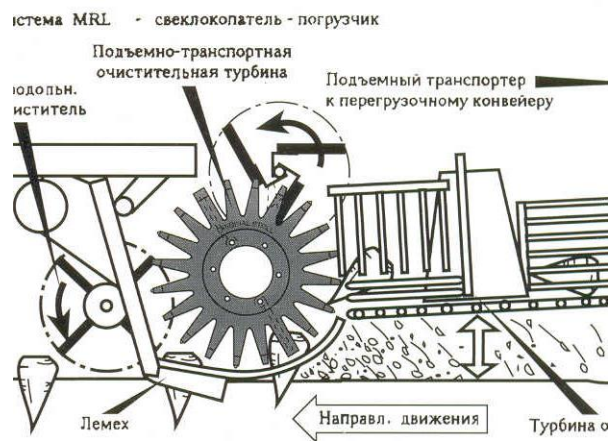
Конструктивні схеми та загальні вигляди ротаційно-вилкових копачів



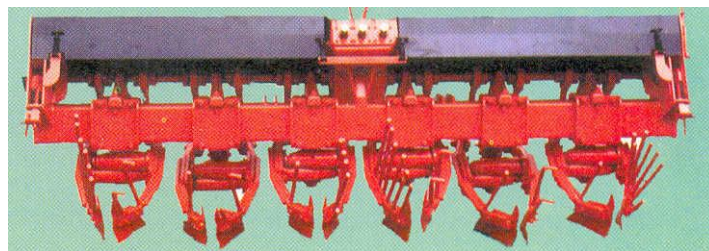
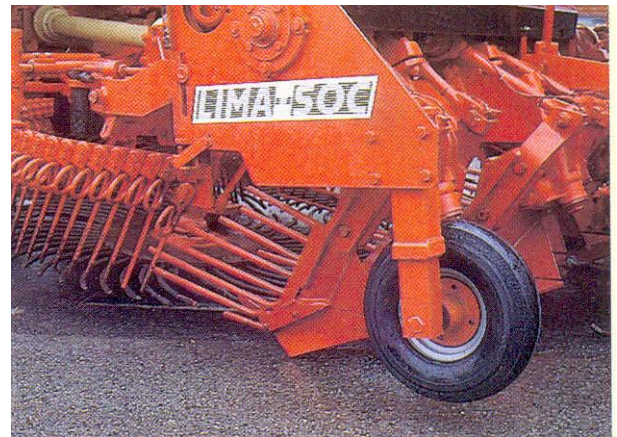
Конструктивні схеми ротаційно-вилкових копачів



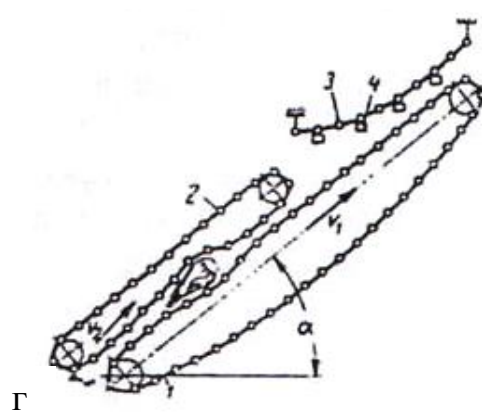
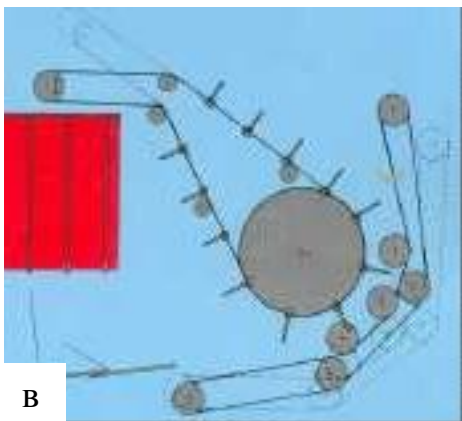
Загальний вигляд ротаційно-вилкових копачів



Конструктивні схеми вібраційних копачів

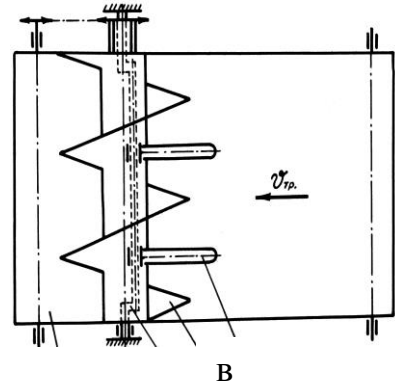
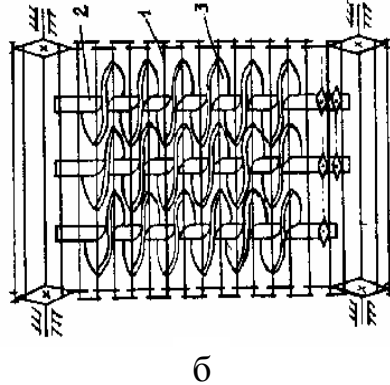
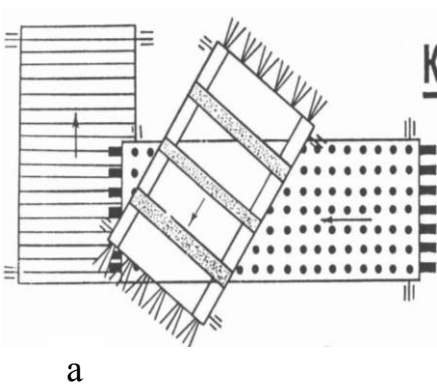


Загальний вигляд вібраційних копачів



Загальний вигляд і схеми елеваторних ОРО:

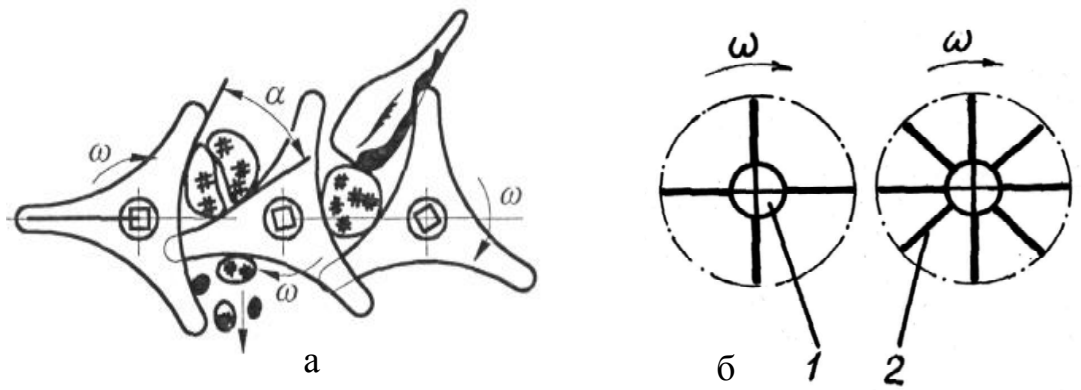
а, б – одноконтурних; в, г – двоконтурних



Конструктивні схеми елеваторних ВРО із активаторами:

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

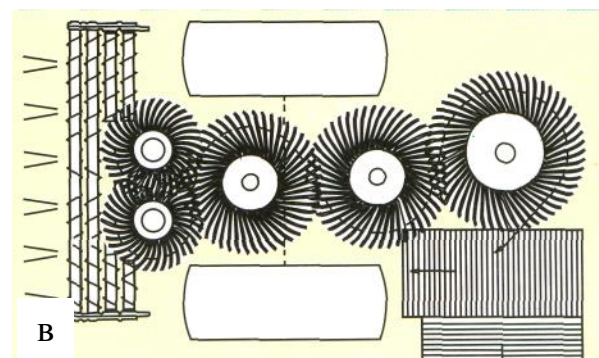
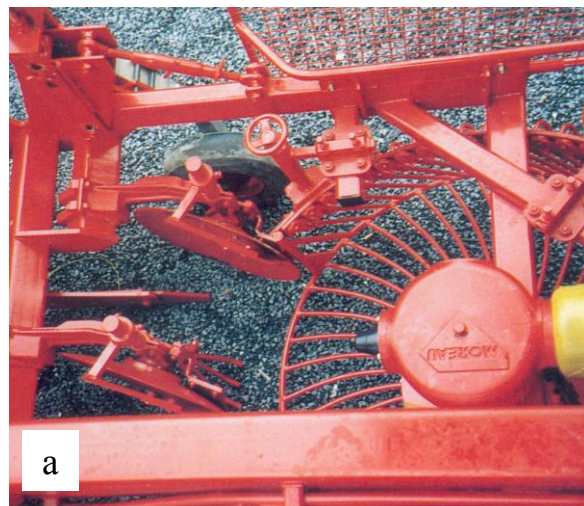
Додаток А.9.2.2



Конструктивні схеми:

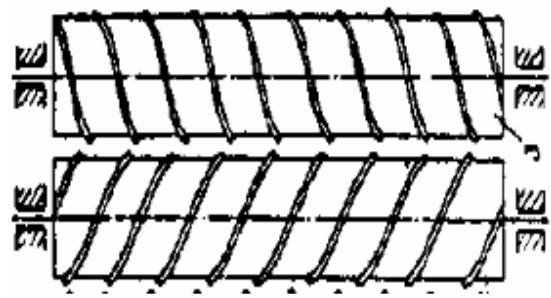
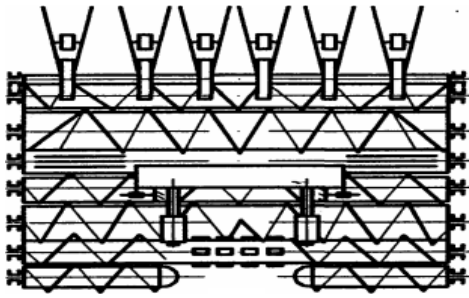
а – кулачковий очисник; в – лопатевий очисник

Додаток А.10.2.2



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

Додаток А.11.2.2



б

Схеми поперечних (а, б) ОРО

Додаток В.1.1

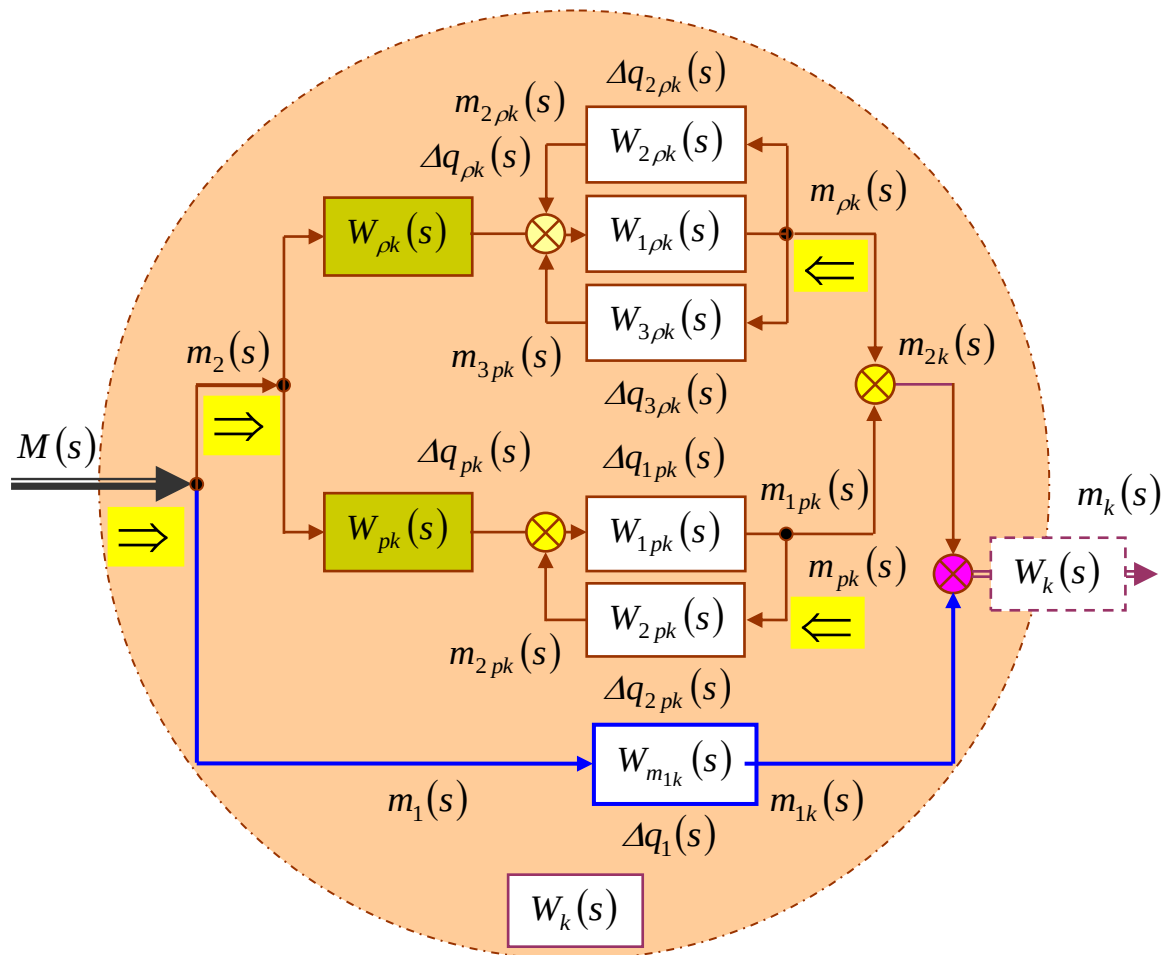


Рис. 1.В.1.1. Структурно-функціональна модель з'єднання підланок процесу інтенсифікації відокремлення домішок від ВК АВТОКРО

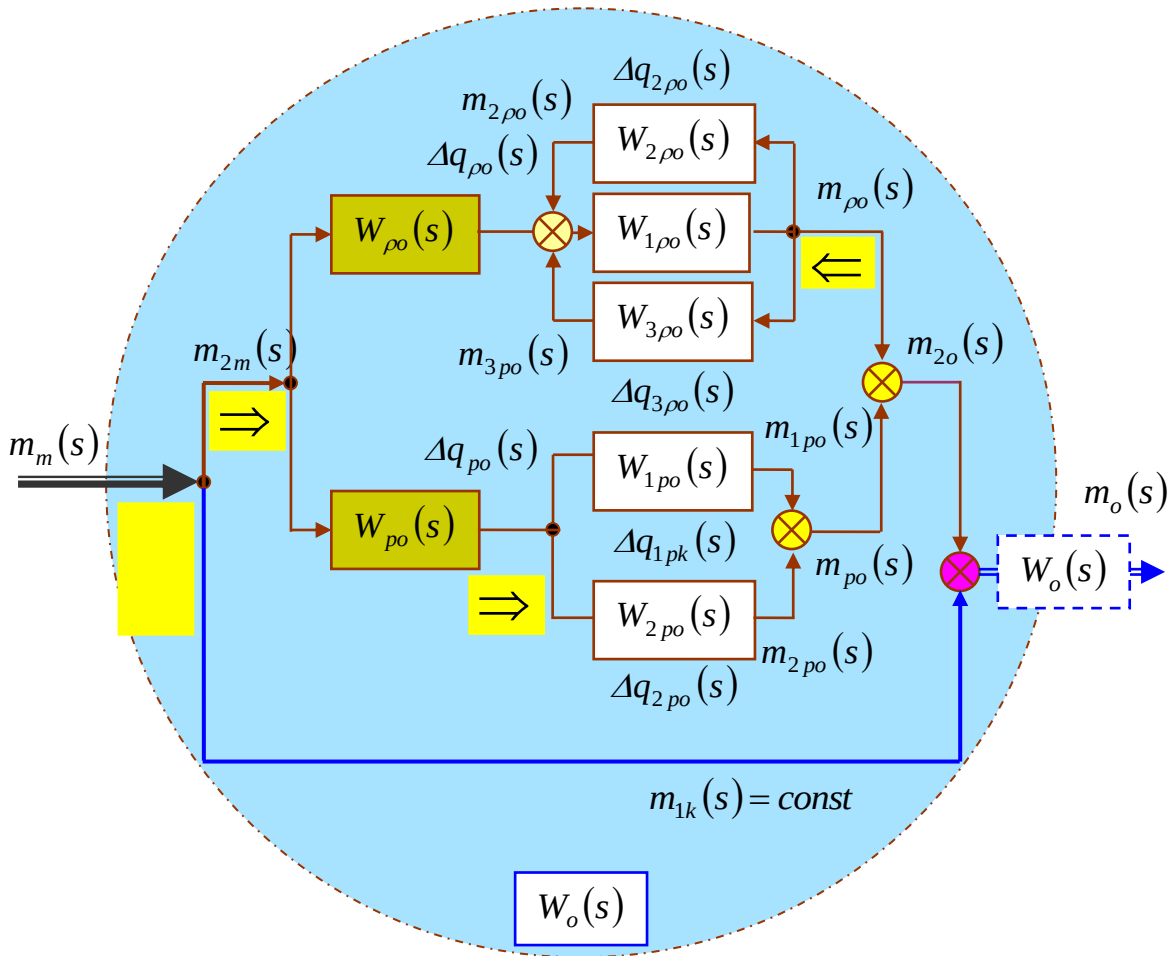


Рис. 2.В.1.1. Структурно-функціональна модель з'єднання підланок процесу інтенсифікації відокремлення домішок від ВК АТОКРО

Додаток В.2.1

1. Порядок визначення передавальної функції $W_k(s)$ АВТОКРО, або формули (3.32):

- визначаємо передавальну функцію зворотного зв'язку підланок $W_{1\rho k}(s)$ і $W_{2\rho k}(s)$

$$W_{1,2\rho k}(s) = \frac{W_{1\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot W_{2\rho k}(s)}; \quad (\text{B.2.1.1})$$

- визначаємо передавальну функцію зворотного зв'язку підланок $W_{1,2\rho k}(s)$ і $W_{3\rho k}(s)$

$$\begin{aligned} W_{1,2,3\rho k}(s) = W_{\rho k}(s) &= \frac{W_{1,2\rho k}(s)}{1 + W_{1,2\rho k}(s) \cdot W_{3\rho k}(s)} = \frac{\frac{W_{1\rho k}}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot W_{2\rho k}(s)}}{1 + \frac{W_{1\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot W_{2\rho k}(s)} \cdot W_{3\rho k}(s)} = \\ &= \frac{W_{1\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot W_{2\rho k}(s)} \cdot \frac{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot W_{2\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot W_{2\rho k}(s) + W_{1\rho k}(s)} \cdot W_{3\rho k}(s) = \\ &= \frac{W_{1\rho k}(s) \cdot W_{3\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot [W_{2\rho k}(s) + 1]} \end{aligned} \quad ; (\text{B.2.1.2})$$

- визначаємо передавальну функцію зворотного зв'язку підланок $W_{\rho k}(s)$

$$W_{\rho k}(s) = \frac{W_{1\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot W_{2\rho k}(s)}; \quad (\text{B.2.1.3})$$

- визначаємо передавальну функцію ланки $W_k(s)$ АВТОКРО

$$W_k(s) = \frac{W_{1\rho k}(s) \cdot W_{3\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot [W_{2\rho k}(s) + 1]} + \frac{W_{1\rho k}(s)}{1 + W_{1\rho k}(s) \cdot W_{2\rho k}(s)} + W_{m1k}(s). \quad (\text{B.2.1.4})$$

2. Порядок визначення передавальної функції $W_o(s)$ АВТОКРО, або формули (3.34):

- визначаємо передавальну функцію зворотного зв'язку підланок $W_{1\rho o}(s)$ і $W_{2\rho o}(s)$

$$W_{1,2\rho o}(s) = \frac{W_{1\rho o}(s)}{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot W_{2\rho o}(s)}; \quad (\text{B.2.1.5})$$

- визначаємо передавальну функцію зворотного зв'язку підланок $W_{1,2\rho o}(s)$ і $W_{3\rho o}(s)$

$$\begin{aligned} W_{1,2,3\rho o}(s) = W_{\rho o}(s) &= \frac{W_{1,2\rho o}(s)}{1 + W_{1,2\rho o}(s) \cdot W_{3\rho o}(s)} = \frac{\frac{W_{1\rho o}}{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot W_{2\rho o}(s)}}{1 + \frac{W_{1\rho o}(s)}{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot W_{2\rho o}(s)} \cdot W_{3\rho o}(s)} = \\ &= \frac{W_{1\rho o}(s)}{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot W_{2\rho o}(s)} \cdot \frac{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot W_{2\rho o}(s)}{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot W_{2\rho o}(s) + W_{1\rho o}(s)} \cdot W_{3\rho o}(s) = \\ &= \frac{W_{1\rho o}(s) \cdot W_{3\rho o}(s)}{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot [W_{2\rho o}(s) + 1]} \end{aligned} \quad ; (\text{B.2.1.6})$$

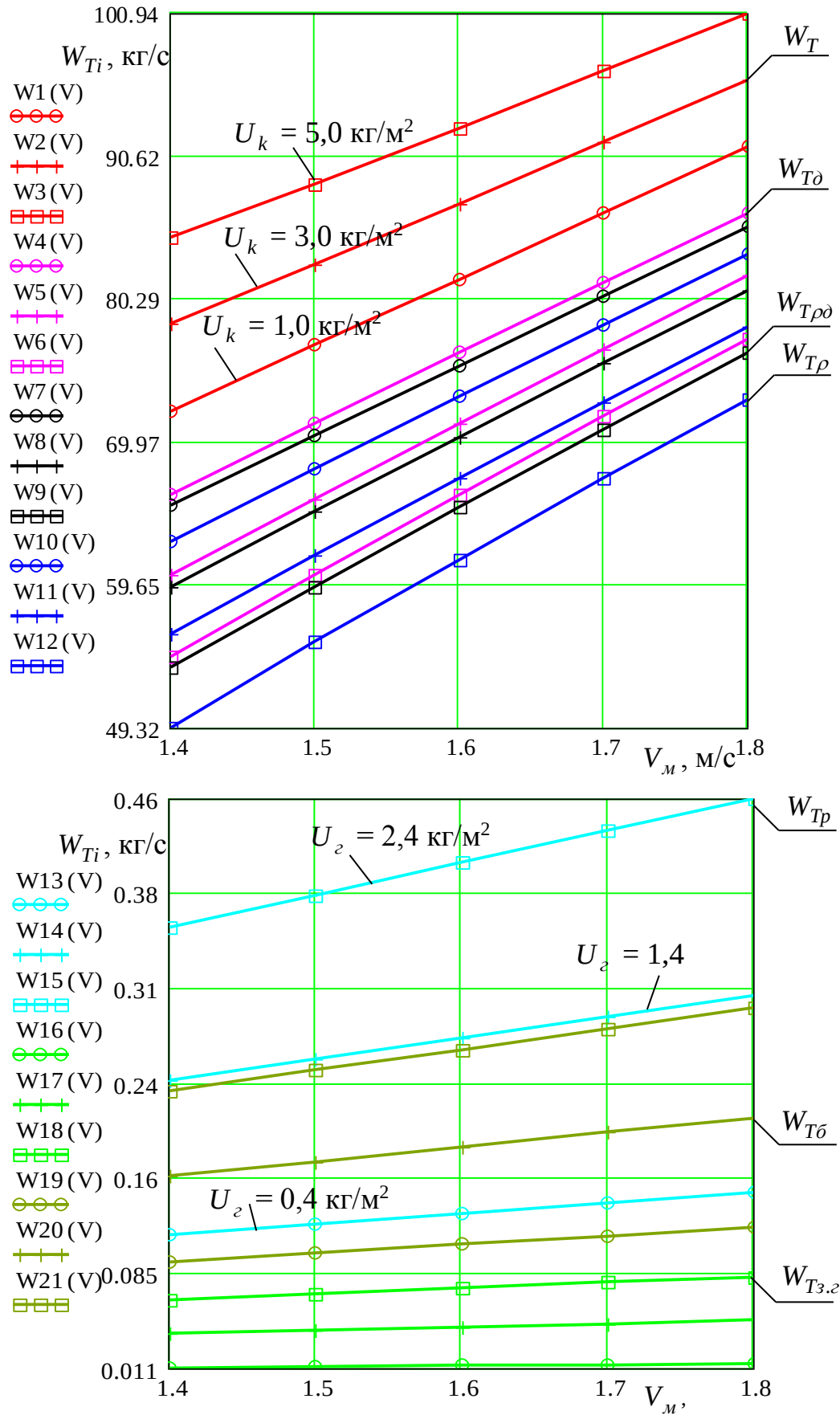
- визначаємо передавальну функцію зворотного зв'язку підланок $W_{\rho o}(s)$

$$W_{\rho o}(s) = W_{1\rho o}(s) + W_{2\rho o}(s); \quad (\text{B.2.1.7})$$

- визначаємо передавальну функцію ланки $W_o(s)$ АТОКРО

$$W_o(s) = \frac{W_{1\rho o}(s) \cdot W_{3\rho o}(s)}{1 + W_{1\rho o}(s) \cdot [W_{2\rho o}(s) + 1]} + W_{1\rho o}(s) + W_{2\rho o}(s) + W_{m1k}(s). \quad (\text{B.2.1.8})$$

Додаток В.3.2



Залежність зміни секундних подач $W_{Ti} = f(V_M)$ складових компонентів вороху коренеплодів від швидкості руху АКМ

Додаток В.4.3

Порядок скорочення формули (3.98)

$$\begin{aligned}
f_{Q_1} = & 0,5\rho_c V_c D \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 f_m^{Q_2} \frac{2\pi \frac{d\varphi}{dt} 0,5D \pi D t g \alpha_n}{a(R_A) \left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} + \frac{\pi D t g \alpha_n}{a(R_A)} \rho_c V_c g \sin \varphi_o + \\
& + f_m^{Q_2} \frac{2\pi \frac{d\varphi_o}{dt} 0,5D \pi D t g \alpha_n}{a(R_A) \left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} \rho_c V_c g \sin \varphi / \left(\begin{aligned} & 1 + f_m^{Q_1} \frac{\pi D t g \alpha_n \left[\frac{d(x'_A)}{dt} \cos \varphi_o - \frac{d(z'_A)}{dt} \sin \varphi_o \right]}{0,5D t g \alpha_n \left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_{Q_1} \right|} - \\ & - f_m^{Q_1} f_m^{Q_2} \frac{\frac{d(y'_A)}{dt} \sin \varphi_o + \frac{d(z'_A)}{dt} \cos \varphi_o}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_{Q_1} \right|} \sin \alpha_n \times \\ & \times 2\pi \frac{d\varphi_o}{dt} \frac{0,5D \pi D t g \alpha_n}{0,5D t g \alpha_n \left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} \end{aligned} \right) = \\
= & \rho_c V_c \left\{ \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 f_m^{Q_2} \frac{\pi^2 \frac{d\varphi}{dt} D^2}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} + \frac{\pi}{0,5} g \sin \varphi_o + f_m^{Q_2} \frac{\pi^2 \frac{d\varphi_o}{dt} D}{a(R_A) \left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} g \cos \varphi_o / \right. \\
& / \left(\begin{aligned} & 1 + f_m^{Q_1} \frac{2\pi \left[\frac{d(x'_A)}{dt} \cos \varphi_o - \frac{d(z'_A)}{dt} \sin \varphi_o \right]}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_{Q_1} \right|} - \\ & - f_m^{Q_1} f_m^{Q_2} \frac{\frac{d(y'_A)}{dt} \sin \varphi_o + \frac{d(z'_A)}{dt} \cos \varphi_o}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_{Q_1} \right|} \sin \alpha_n \times \\ & \times 2\pi^2 \frac{d\varphi_o}{dt} \frac{D}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} \end{aligned} \right) \left. \right\} =
\end{aligned}$$

$$= 2\rho_c V_c \left[\frac{\frac{f_m^{Q_2} \pi^2 D \frac{d\varphi_o}{dt} \left[D \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 + g \cos \varphi_o \right] + \pi g (\sin \varphi_o + \operatorname{ctg} \alpha_n)}{2 \left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|}}{1 + \frac{2\pi f_m^{Q_1}}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_{Q_1} \right|} \left(\frac{d(x'_A)}{dt} \cos \varphi_o - \frac{d(z'_A)}{dt} \sin \varphi_o - f_m^{Q_2} \left(\frac{d(y'_A)}{dt} \sin \varphi_o + \frac{d(z'_A)}{dt} \cos \varphi_o \right) \frac{\pi D (d\varphi_o / dt)}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} \right)} \right].$$

Порядок спрощення рівняння (3.99)

$$\begin{aligned} f_{Q_2} &= \rho_c V_c 0,5D \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 + 0,5D \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 g \cos \varphi_o + \\ &\quad + f_m^{Q_1} f_{Q_1} \sin \varphi_o \frac{\left[\frac{d(z'_A)}{dt} \cos \varphi_o + \frac{d(x'_A)}{dt} \sin \varphi_o \right] \sin \alpha_n}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \frac{d}{dt} [0,5D \cos \varphi_A(t); 0,5D \sin \varphi_A(t)] - \frac{d}{dt} [z'_A(t); x'_A(t); 0] \right|} = \\ &= \rho_c V_c \left[0,5D \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 + g \cos \varphi_o \right] + \\ &\quad + f_m^{Q_1} f_{Q_1} \sin \varphi_o \frac{\left[\frac{d(z'_A)}{dt} \cos \varphi_o + \frac{d(x'_A)}{dt} \sin \varphi_o \right] \sin \alpha_n}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \frac{d}{dt} [0,5D \cos \varphi_A(t); 0,5D \sin \varphi_A(t)] - \frac{d}{dt} [z'_A(t); x'_A(t); 0] \right|} \end{aligned}$$

Додаток В.5.3

Порядок спрощення залежності (3.100)

$$\begin{aligned}
& \rho_c V_c \pi D t g \alpha_n \left(\frac{d\varphi_0}{dt} \right)^2 = \\
& = 2\pi \rho_c V_c g - \frac{f_{Q_1}}{0,5 D t g \alpha_n} (2\pi)^2 0,5 D - f_{Q_2} f_n^{Q_2} \frac{\pi D z_n t g \alpha_n \left(\frac{d\varphi_o}{dt} - 2\pi \omega \right)}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} - \\
& - f_{Q_1} f_m^{Q_1} \frac{\pi D t g \alpha_n \left(\frac{d\varphi_o}{dt} - 2\pi \omega \right)}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_{Q_1} \right|} = \\
& = 2\pi \rho_c V_c g \sin \alpha - \frac{\mu_1}{0,5 D t g \alpha_n} 2\pi^2 D - 2 f_{Q_2} f_m^{Q_2} \frac{\pi D z_n t g \alpha_n \left[\left(\frac{d\varphi}{dt} \right) - \pi 0,5 D \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) \right]}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} - \\
& - f_{Q_1} f_m^{Q_1} \frac{\pi D t g \beta \left[\left(\frac{d\varphi}{dt} \right) - 2\pi \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \right]}{\left[\left(\frac{d\vec{R}_A}{dt} - \frac{d}{dt} [0,5 D \cos \varphi_A(t); 0,5 D \sin \varphi_A(t)] - \frac{d}{dt} [z'_A(t); x'_A(t); 0] \right) \right]} = \\
& = 2\pi \left(\rho_c V_c g - f_{Q_1} \cos \alpha_n \cos \varphi_o \right) - \pi D z_n (t g \alpha_n - 1) \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right) \times \\
& \times \left[\frac{f_m^{Q_2} f_{Q_2}}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \vec{V}_m \right|} - \frac{f_m^{Q_1} f_{Q_2} \sin \varphi_o}{\left| \frac{d\vec{R}_A}{dt} - \frac{d}{dt} [0,5 D \cos \varphi_A(t); 0,5 D \sin \varphi_A(t) + \frac{d}{dt} [z'_A(t); x'_A(t); 0] \right]} \right] .
\end{aligned}$$

Додаток В.6.3

Порядок спрощення залежності (3.105)

$$V_a^2 - 2V_a \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o \right) \cos \gamma + \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} \right)^2 + 2 \frac{V_m}{\cos \alpha_o} V_o + V_o^2 - V_k^2 \cos^2 \varphi_o = 0;$$

$$\left(\frac{dL_k}{dt} \right)^2 - 2 \frac{dL_k}{dt} \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o \right) \cos \gamma + \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o \right)^2 - V_k^2 \cos^2 \varphi_o = 0;$$

$$\frac{dL_k}{dt} = \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o \right) \cos \gamma \pm \sqrt{\left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o \right)^2 \cos^2 \gamma - \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o \right)^2 + V_k^2 \cos^2 \varphi_o};$$

$$\frac{dL_k}{dt} = \left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o \right) \cos \gamma \pm \sqrt{\left(\frac{V_m}{\cos \alpha_o} + V_o \right)^2 (\cos^2 \gamma - 1) + V_k^2 \cos^2 \varphi_o}$$

Додаток В.7.3

Порядок спрощення формули (3.107)

$$\begin{aligned} & \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 \cos^2 \gamma \pm \\ & \pm \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 (\cos^2 \gamma - 1) = - \left(\frac{\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o; \end{aligned}$$

$$\left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 (\cos^2 \gamma \pm \cos^2 \gamma - 1) - \left(\frac{\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o = 0;$$

$$\begin{aligned} & 2 \cos^2 \gamma \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 + \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 - \\ & - \left(\frac{\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \sqrt{\frac{\left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2 - \left(\frac{\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o}{2 \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o}{\left(\frac{d\varphi_m}{dt} \frac{d_m}{\cos \alpha_o} + \frac{d\varphi_o}{dt} Dk_v \operatorname{tg} \alpha_n \right)^2}} \end{aligned}$$

Додаток В.8.3

Порядок спрощення залежності (3.111)

1. Згідно з рис. 3.13 маємо

$$\begin{aligned}
 \vec{V}_a^2 &= V_{R_{x_1 y_1}}^2 + (V_{m_{x_1}} + V_o^2); \\
 V_a &= \sqrt{V_{R_{x_1 y_1}}^2 + V_{m_{x_1}}^2 + 2V_{m_{x_1}} V_o + V_o^2}; \\
 V_a &= \sqrt{V_R^2 \cos^2 \varphi_o + \frac{V_{m_1}^2}{\cos^2 \alpha_o} + 2 \frac{V_{m_1}}{\cos \alpha_o} V_o + V_o^2}; \\
 V_a &= \sqrt{0,25 \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 \cos^2 \varphi_o + \frac{0,25 \left(\frac{d\varphi_m}{dt} \right)^2 d_m}{\cos^2 \alpha_o} +} \\
 &\quad \sqrt{+ 2 \frac{0,5 \frac{d\varphi_m}{dt} d_m}{\cos \alpha_o} - 0,5 \frac{d\varphi_o}{dt} D k_V \operatorname{tg} \alpha_n + 0,25 D^2 \left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 k_V^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_n} = \\
 &= \frac{1}{2 \cos \alpha_o} \sqrt{\left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 (\cos^2 \varphi_o + k_V^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_n) +} \\
 &\quad \sqrt{+ \frac{d\varphi_m}{dt} d_m \left(2 \frac{d\varphi_o}{dt} D k_V \operatorname{tg} \alpha_n \cos \alpha_o + \frac{d\varphi_m}{dt} d_m \right)}
 \end{aligned}$$

2. Тоді згідно з $K_{II} = V_a / [V_{kp}] \leq 1$, отримаємо

$$K_{II} = \frac{1}{2[V_{kp}] \cos \alpha_o} \sqrt{\left(\frac{d\varphi_o}{dt} \right)^2 D^2 (\cos^2 \varphi_o + k_V^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_n) +} \\
 \sqrt{+ \frac{d\varphi_m}{dt} d_m \left(2 \frac{d\varphi_o}{dt} D k_V \operatorname{tg} \alpha_n \cos \alpha_o + \frac{d\varphi_m}{dt} d_m \right)} \leq 1.$$

Додаток Г.1.1

Технічна характеристика удосконаленої коренезбиральної машини МКК-6

Найменування показника	Значення показника	
	Межі регулювання	При проведенні досліджень серійна/удосконалена
Тип	самохідна	
Агрегатування	-	
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 відминальних вальцем, см	1,0...5,0	-/5,0
Частота обертання відминальних вальців, об/хв	450	-/450
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

Умови проведення порівняльних досліджень
модернізованої і базової КМ МКК-6

Найменування показників	Значення показників
Тип ґрунту і назва за механічним складом	Чорнозем опідзолений, легкосуглинковий
Рельєф поля	Рівнинний
Мікрорельєф ділянки	Рівний
Вологість ґрунту, % у шарі, см:	
від 0 до 10	18,4
більше 10 до 20	21,3
більше 20 до 30	23,1
Щільність ґрунту, МПа в шарі, см:	
від 0 до 10	1,3
більше 10 до 20	2,1
більше 20 до 30	3,1

Характеристика плантації та коренеплодів
під час проведення порівняльних досліджень КМ МКК-6

Найменування показників	Один. вимір.	Значення показників
Сорт кормових буряків	Київський	
Ширина міжрядь:		
- середня	см	45
- середньоквадратичне відхилення	± см	0,92
Врожайність коренеплодів	т/га	531,5
Густота насаджень рослин	тис.шт./га	81,5
Врожайність гички	т/га	73,8
Відстань між коренеплодами в рядку	м	0,20...0,25
Діаметр коренеплодів	м	0,12...0,22
Розмір коренеплодів за групами:		
- великі		
діаметр коренеплодів	мм	120
довжина коренеплодів	мм	250
- середні		
діаметр коренеплодів	мм	70
довжина коренеплодів	мм	150
- дрібні		
діаметр коренеплодів	мм	45
довжина коренеплодів	мм	110
Співвідношення груп коренеплодів за масою	%	62,3/30,9/6,8
Висота розташування головок коренеплодів	± см	2,5...6,9
Кількість бур'янів на 1 м ²	шт./кг/м ²	до 14/1,7

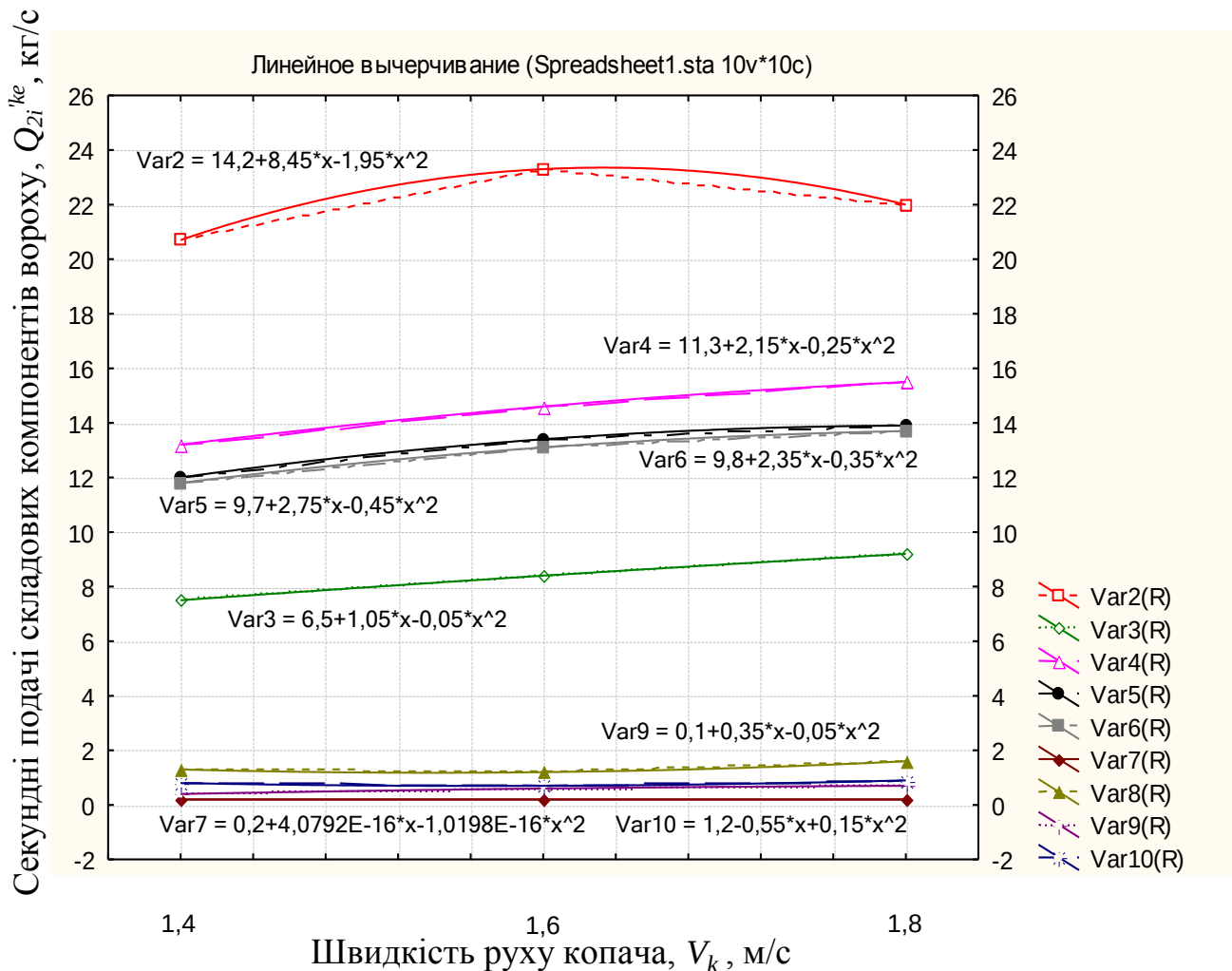
Додаток Г.2.2

Рандомізована план-матриця двофакторного експерименту типу ПФЕ3²

№ п/п експерименту	Позначення фактора та кодовані рівні варіювання факторами			
	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$
3, 12, 21	+1	0	0	0
9, 18, 27	+1	+1	0	0
1, 10, 19	+1	-1	0	0
6, 15, 24	+1	0	+1	0
8, 17, 26	+1	+1	+1	+1
5, 14, 23	+1	-1	+1	-1
7, 16, 25	+1	0	-1	0
4, 13, 22	+1	+1	-1	-1
2, 11, 20	+1	-1	-1	+1

Залежність секундної подачі складових компонентів ВК від зміни швидкості руху КМ V_m при викопуванні 3-х рядків коренеплодів АВТОКРО без приводного очисного вала:

Var 2 – загальної подачі вороху коренеплодів; Var 3 – подачі коренеплодів;
 Var 4 – загальної подачі домішок; Var 5 – загальної подачі домішок ґрунту;
 Var 6 – подачі домішок вільного ґрунту; Var 7 – подачі домішок налиплого ґрунту;
 Var 8 – загальної подачі рослинних домішок; Var 9 – подачі домішок залишків гички на головках коренеплодів; Var 10 – подачі домішок бур'янів



Додаток Г.3.3

Статистичні показники експериментальних досліджень визначення

кута відбивання коренеплодів $\gamma^{(e)}$

STATISTICA - Spreadsheet1

Файл Редактирование Просмотр Вставка Формат Статистика Графы Инструменты Данные Окно Справка

Данные: Spreadsheet1* (10v...

	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var5
1	0,4	7	40	65
2	0,6	7	40	60
3	0,8	7	40	55
4	0,4	11	40	50
5	0,6	11	40	45
6	0,8	11	40	40
7	0,4	15	40	35
8	0,6	15	40	30
9	0,8	15	40	25
10	0,4	7	65	20
11	0,6	7	65	5
12	0,8	7	65	0
13	0,4	11	65	5
14	0,6	11	65	15
15	0,8	11	65	0
16	0,4	15	65	5
17	0,6	15	65	0
18	0,8	15	65	0
19	0,4	7	90	20
20	0,6	7	90	15
21	0,8	7	90	15
22	0,4	11	90	22
23	0,6	11	90	17
24	0,8	11	90	12
25	0,4	15	90	18
26	0,6	15	90	13
27	0,8	15	90	8
28				

STAT

4 - кол-во переменных; вид зависимости Логарифмическая $Y=A0+A(i)*\ln(X(i))...4$

Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.053

	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляции Y с X(i)	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Значимость
Зависимая переменная Y	+22.519	+19.192		+239.548309			
Независимые переменные							
X(1)	-0.550	+0.290	-0.141744	-9.389107	+7.751109	-1.21	значим
X(2)	+2.351	+0.319	-0.411528	-24.767008	+7.042748	-3.52	значим
X(3)	+4.121	+0.340	-0.703980	-39.790295	+6.614290	-6.02	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения

Y +239.54830932617

X(1) -9.38910675049

X(2) -24.76700782776

X(3) -39.79029464722

Имя файла VAR .STA

Нажмите любую клавишу

Нажмите F1 для помощи

C28,V4 Sel:OFF Weight:OFF CAPS NUM REC

ПУСК ДОКТОР Автореф 12 - Ми... РОЗДІЛ 2 - Ми... STATISTICA - Sp... STAT EN 11:03

STATISTICA - Spreadsheet1

Файл Редактирование Просмотр Вставка Формат Статистика Графы Инструменты Данные Окно Справка

Данные: Spreadsheet1* (10v...

	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var5
1	0,4	7	40	65
2	0,6	7	40	60
3	0,8	7	40	55
4	0,4	11	40	50
5	0,6	11	40	45
6	0,8	11	40	40
7	0,4	15	40	35
8	0,6	15	40	30
9	0,8	15	40	25
10	0,4	7	65	20
11	0,6	7	65	5
12	0,8	7	65	0
13	0,4	11	65	5
14	0,6	11	65	15
15	0,8	11	65	0
16	0,4	15	65	5
17	0,6	15	65	0
18	0,8	15	65	0
19	0,4	7	90	20
20	0,6	7	90	15
21	0,8	7	90	15
22	0,4	11	90	22
23	0,6	11	90	17
24	0,8	11	90	12
25	0,4	15	90	18
26	0,6	15	90	13
27	0,8	15	90	8
28				

STAT

Коэффициент множественной детерминации D= 0.685
 Коэффициент множественной корреляции R= 0.828
 Стандартное отклонение оценки s= %11.45184793677388
 F критерий Фишера = 16.675
 Коэффициент D значим с вероятностью P = 0.99996

Имя файла BAR .STA

Нажмите любую клавишу

Нажмите F1 для помощи

C28,V4 Set:OFF Weight:OFF CAPS NUM REC

ПУСК ДОКТОР Автореф 12... РОЗДІЛ 2 - ... STATISTICA ... STAT Безымянны... EN 11:05

Додаток Г.3.3

Статистичні показники експериментальних досліджень визначення

коефіцієнта динамічного ефекту роботи $K_{II}^{(e)}$ АТОКРО

STATISTICA - Spreadsheet1

Файл Редактирование Просмотр Вставка Формат Статистика Графы Инструменты Данные Окно Справка

Аrial 10 B I U Add to Workbook Добавление в отчет

Данные: Spreadsheet1* (10v by 28c)

	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var5	5 Var5
7	7	0,6	40	35	0,78
8	15	0,6	40	30	1,49
9	11	0,6	40	25	1,08
10	7	0,4	65	20	0,69
11	15	0,4	65	5	1,15
12	11	0,4	65	0	0,82
13	7	0,8	65	5	0,89
14	15	0,8	65	15	1,52
15	11	0,8	65	0	1,32
16	7	0,6	65	5	0,74
17	15	0,6	65	0	1,43
18	11	0,6	65	0	1,03
19	7	0,4	90	20	0,7
20	15	0,4	90	15	1,16
21	11	0,4	90	15	0,84
22	7	0,8	90	22	0,92
23	15	0,8	90	17	1,54
24	11	0,8	90	12	1,33
25	7	0,6	90	18	0,75
26	15	0,6	90	13	1,45
27	11	0,6	90	8	1,05
28					

STAT

4 - кол-во переменных; вид зависимости Обратная $Y=A0+A(i)/X(i).....5$

Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.053

N	Среднее	Стандартное	Корреляции	Коэффициент	Статистич.	t-альфа	Значимость
пе-1	отклонение	Y с X(i)	регрессии	ошибка			коэфф.
рем.1			линеаризов.	коэфф. регр.			регрессии

Зависимая переменная
Y +1.082 +0.292 +2.282817

Независимые переменные

	+0.100	+0.032	-0.815621	-7.345711	+0.559773	-13.12	значим
X(1)							
X(2)	+1.806	+0.530	-0.494853	-0.272572	+0.034235	-7.96	значим
X(3)	+0.017	+0.006	+0.032130	+1.583442	+3.063087	+0.52	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения

Y	+2.28281736374
X(1)	-7.34571123123
X(2)	-0.27257207036
X(3)	+1.58344244957

Имя файла BAR2 .STA

Нажмите любую клавишу

Нажмите F1 для помощи

пуск ДОКТОР Автореф 12... Кут відбива... ДОДАТКИ - ... STATISTICA ... STAT EN 23:08

STATISTICA - Spreadsheet1

Файл Редактирование Просмотр Вставка Формат Статистика Графы Инструменты Данные Окно Справка

Данные: Spreadsheet1* (10v by 28c)

	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var5	5 Var5
7	7	0,6	40	35	0,78
8	15	0,6	40	30	1,49
9	11	0,6	40	25	1,08
10	7	0,4	65	20	0,69
11	15	0,4	65	5	1,15
12	11	0,4	65	0	0,82
13	7	0,8	65	5	0,89
14	15	0,8	65	15	1,52
15	11	0,8	65	0	1,32
16	7	0,6	65	5	0,74
17	15	0,6	65	0	1,43
18	11	0,6	65	0	1,03
19	7	0,4	90	20	0,7
20	15	0,4	90	15	1,16
21	11	0,4	90	15	0,84
22	7	0,8	90	22	0,92
23	15	0,8	90	17	1,54
24	11	0,8	90	12	1,33
25	7	0,6	90	18	0,75
26	15	0,6	90	13	1,45
27	11	0,6	90	8	1,05
28					

STAT

Коэффициент множественной детерминации D= 0.911
 Коэффициент множественной корреляции R= 0.955
 Стандартное отклонение оценки s= 0.092
 F критерий Фишера = 78.621
 Коэффициент D значим с вероятностью P = 1.00000

Имя файла BAR2 STA

Нажмите любую клавишу

Нажмите F1 для помощи

Set:OFF Weight:OFF CAPS NUM REC

пуск ДОКТОР Автореф... Кут відб... ДОДАТК... STATIST... STAT Кан - Мис... EN 23:11

Додаток Д 1.1

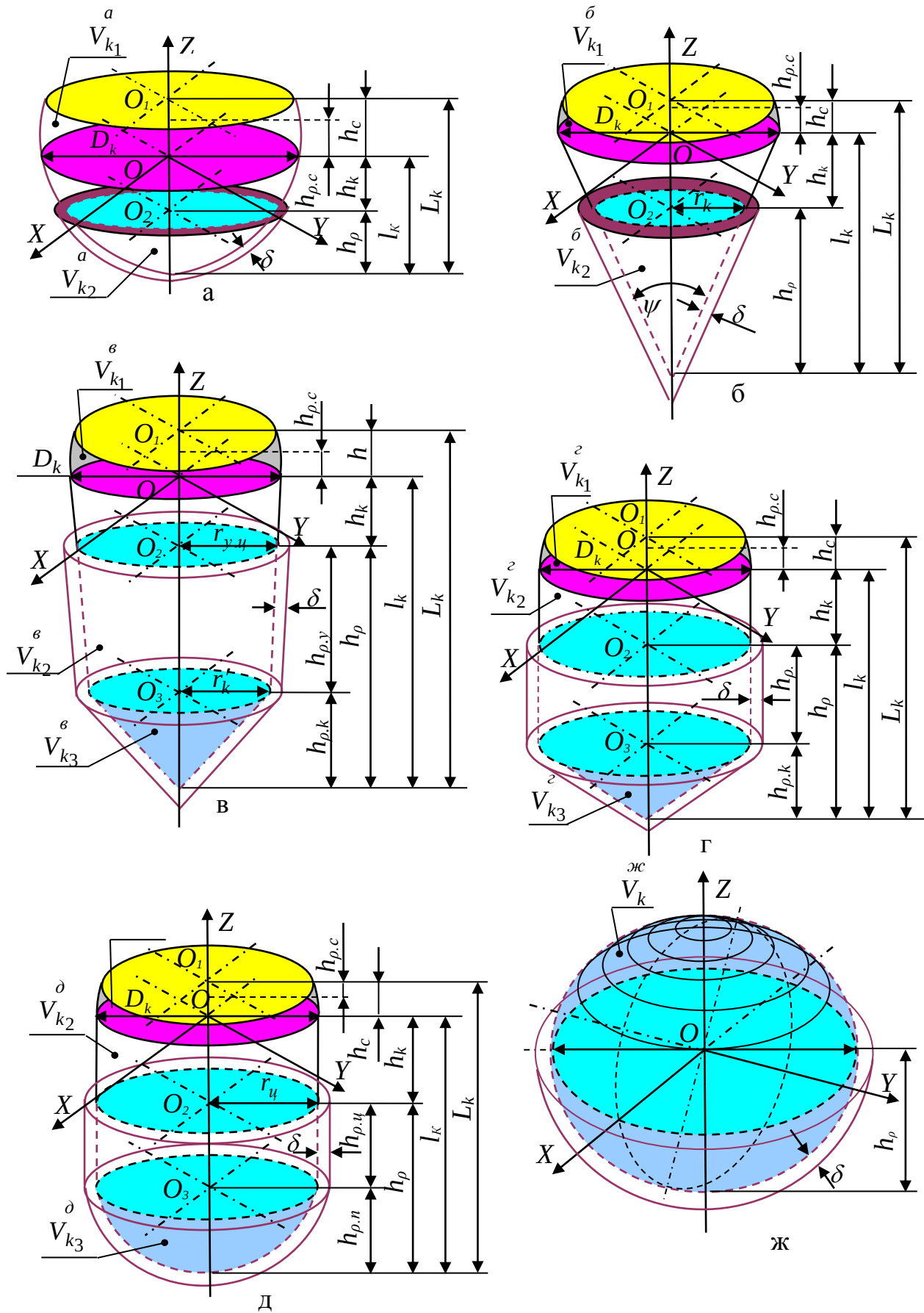


Рис. 1.Д.1.1. Схеми для розрахунку масових характеристик формалізованих просторових форм коренеплодів

Продовження додатку Д.1.1

Загальний вигляд просторових форм коренеплодів



Рис. 1.Д.1.1г



Рис. 1.Д.1.1б



Рис. 1.Д.1.1в

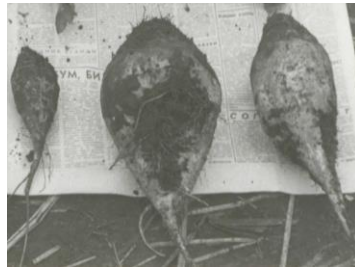


Рис. 1.Д.1.1б



Рис. 1.Д.1.1б



Рис. 1.Д.1.1б-ж



Рис. 1.Д.1.1д



Рис. 1.Д.1.1б

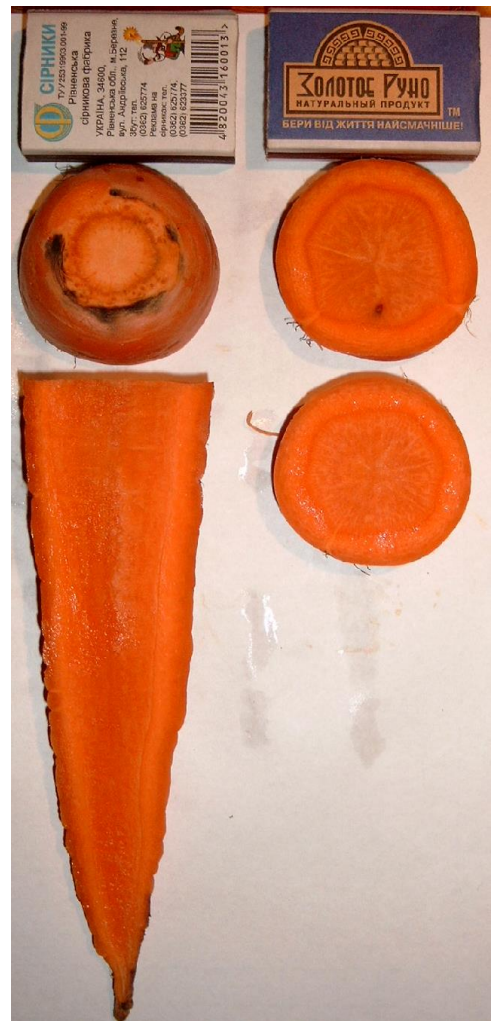


Рис. 1.Д.1.1а-ж



Рис. 1.Д.1.1а

Поперечний та поздовжній переріз коренеплодів



Додаток Д.2.1

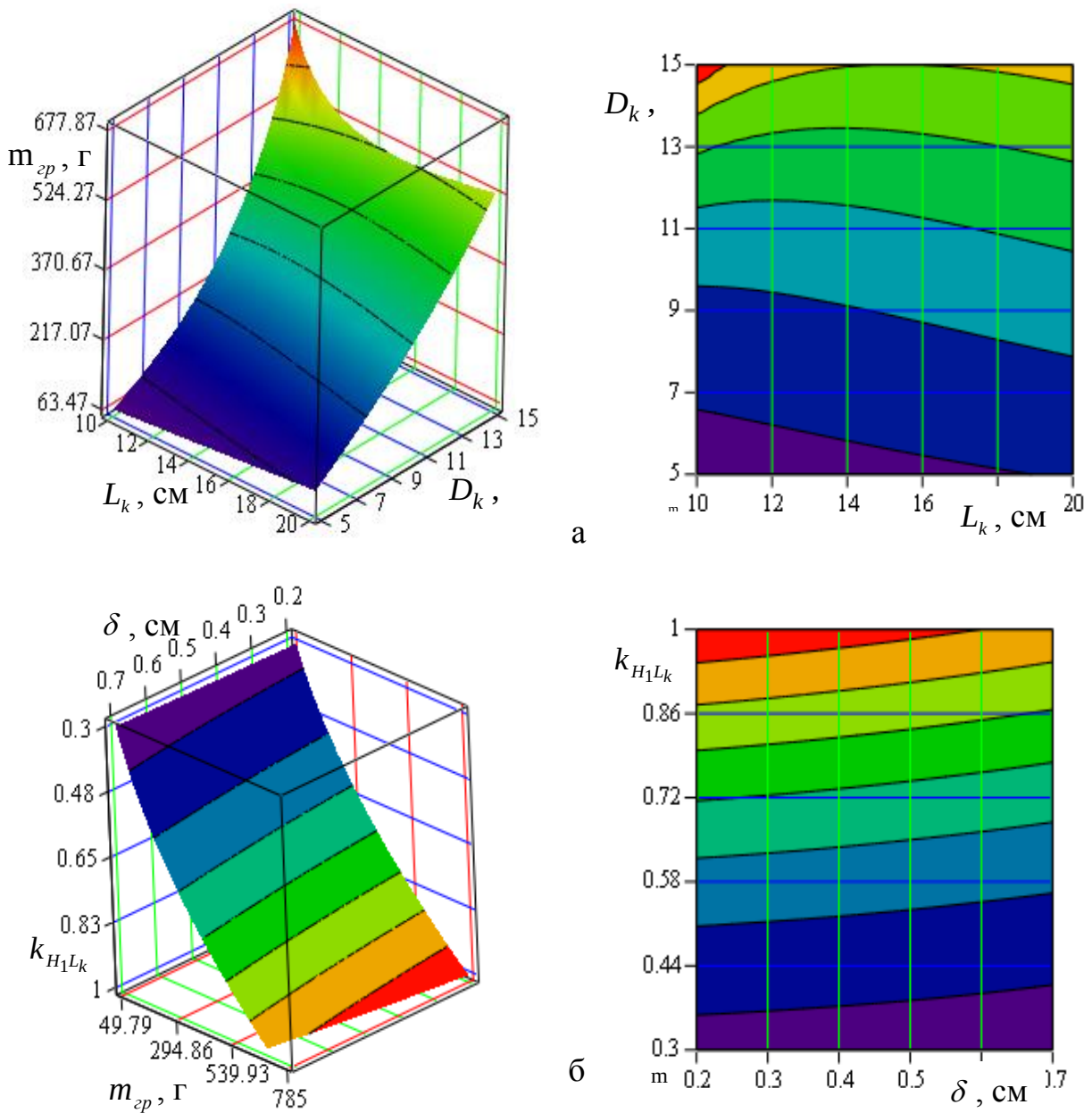


Рис. 1.Д.2.1. Залежності зміни маси налиплого ґрунту m_{ep} на поверхні тіла коренеплоду: а – від довжини L_k і діаметра D_k коренеплоду при $k_w = 1,0$; $k_{H_1L_k} = 0,5$; $\delta = 0,5$ см; б – від коефіцієнта відношення $k_{H_1L_k}$ і δ при $k_w = 1,0$; $D_k = 15$ см; $L_k = 20$ см

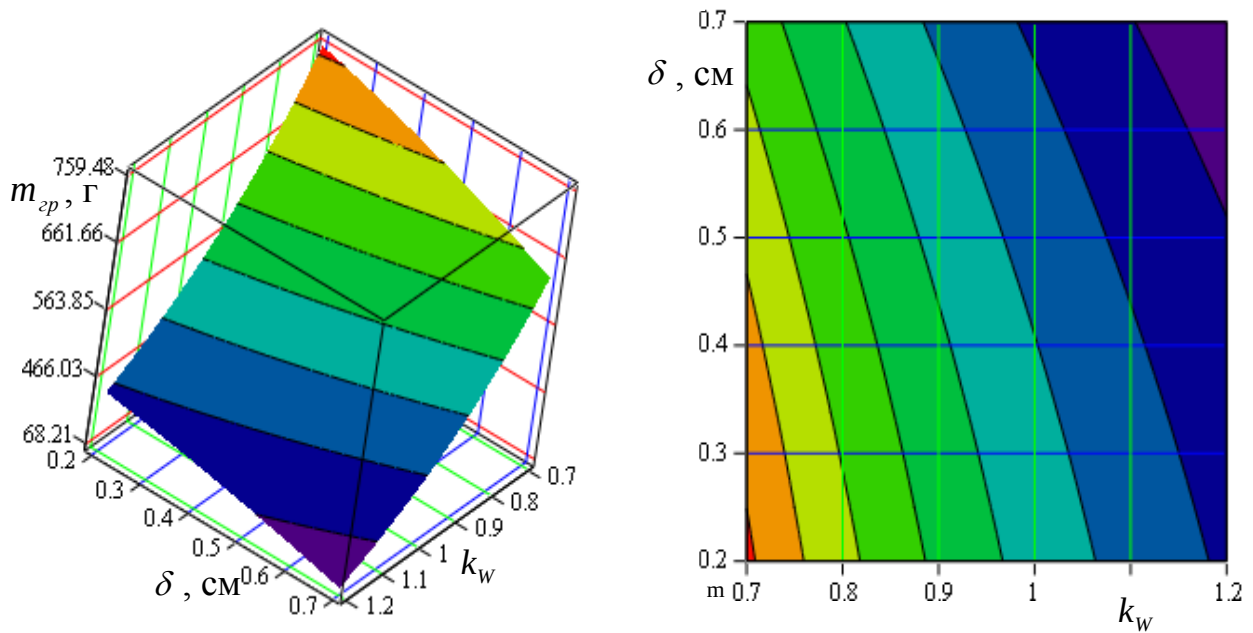


Рис. 2.Д.2.1. Залежності зміни маси налиплого ґрунту m_{ep} на поверхні тіла коренеплоду від коефіцієнта вологості ґрунту k_w і товщини шару

налиплого ґрунту δ при $k_{H_1L_k} = 0,5$; $D_k = 15$ см; $L_k = 20$ см

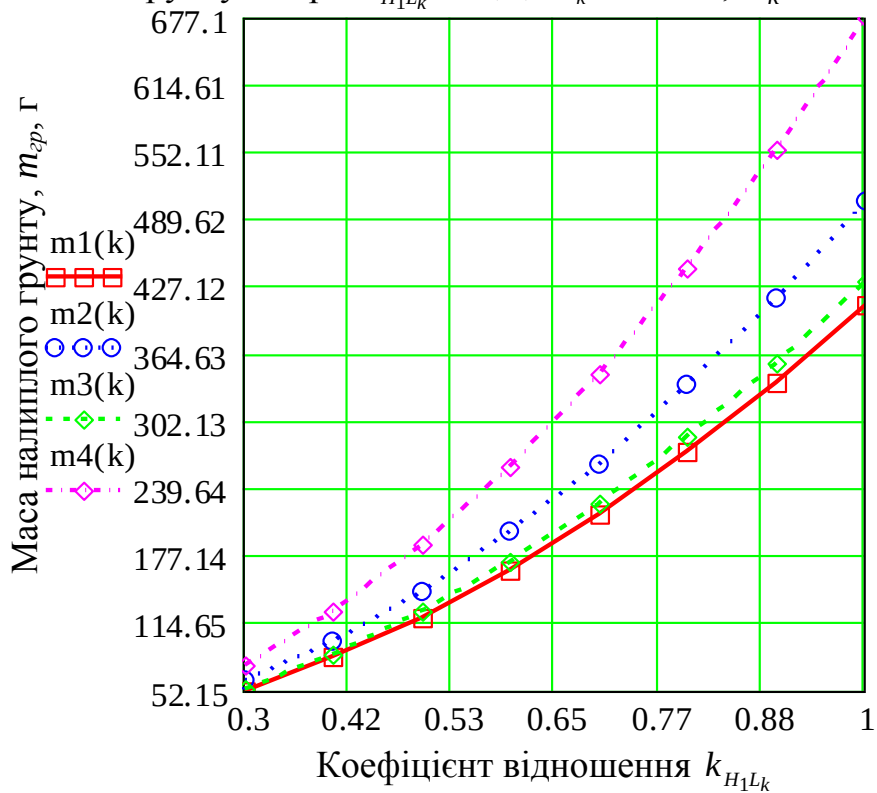


Рис. 3.Д.2.1. Залежності маси налиплого ґрунту m_{ep} на поверхні тіла коренеплодів від коефіцієнта відношення $k_{H_1L_k}$ при $k_w = 1$; $\delta = 0,5$ см: $m1(k)$, $m2(k)$ - при $L_k = 15$ см; $m3(k)$, $m4(k)$ - при $L_k = 20$ см, відповідно, для $D_k = 10$ і 15 (см)

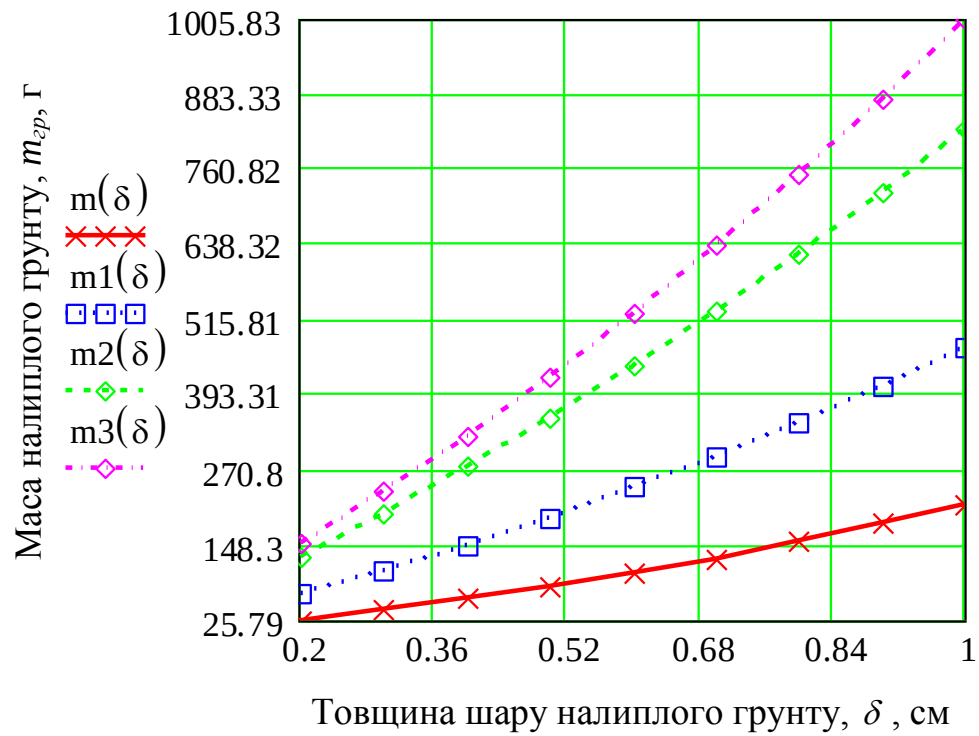


Рис. 4.Д.2.1. Залежність маси налиплого ґрунту $m_{гр}$ на поверхні тіла коренеплодів від товщини шару налиплого ґрунту δ при $k_w = 1$: $m(\delta)$, $m1(\delta)$, $m2(\delta)$, $m3(\delta)$ - відповідно при $k_{H_1 L_k} = 0,3$; $0,5$; $0,7$ і $1,0$ для $D_k = 15,0$ см, $L_k = 20,0$ см

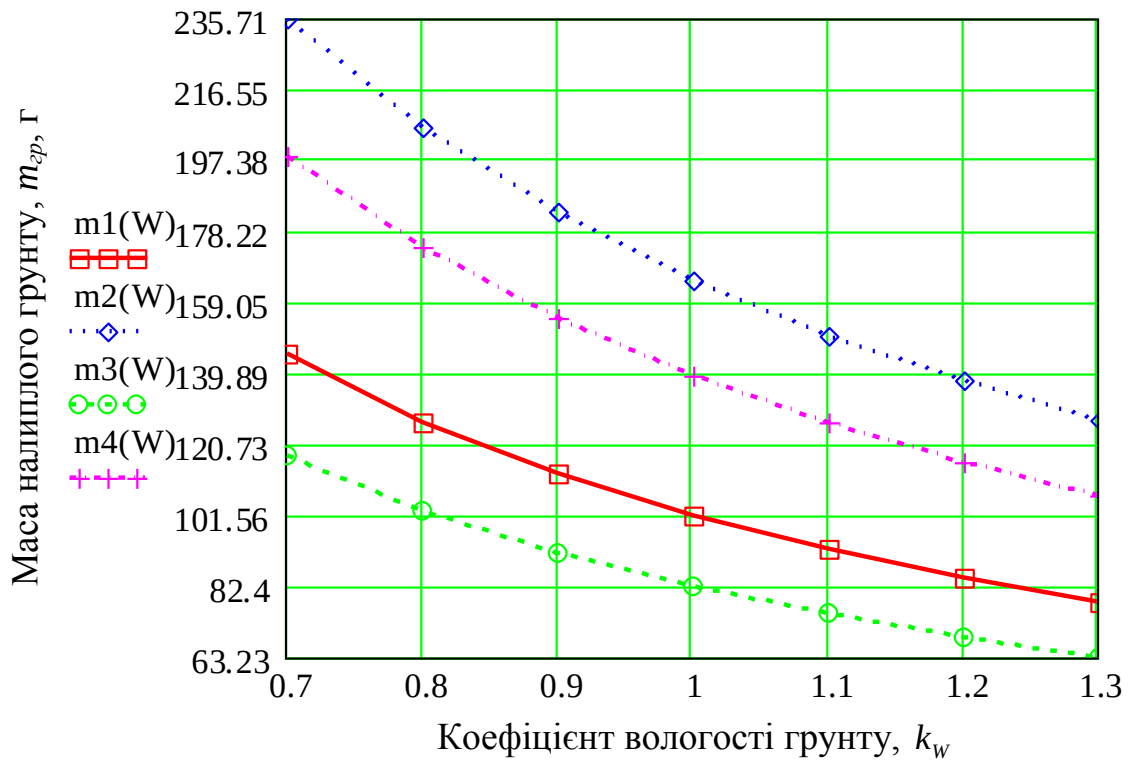


Рис. 5.Д.2.1. Залежності маси налиплого ґрунту $m_{сп}$ на поверхні тіла коренеплодів від коефіцієнта вологості ґрунту k_w при $\delta = 0,5$ см, $k_{H_1L_k} = 0,5$: $m1(W)$, $m2(W)$ при $L_k = 20$ см, $m3(W)$, $m4(W)$ при $L_k = 15$ см, відповідно для $D_k = 10$ і 15 (см)

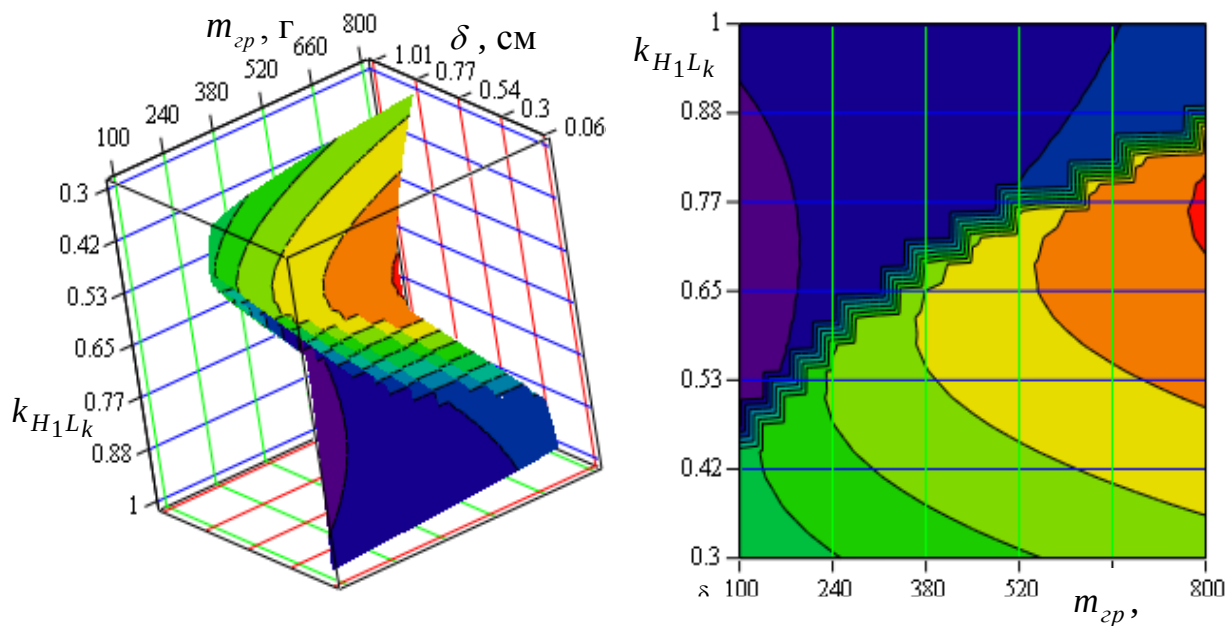


Рис. 6.Д.2.1. Залежності зміни розподілення товщини шару налиплого ґрунту від коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ і маси налиплого ґрунту $m_{сп}$ при $k_w = 1$; $D_k = 15$ см; $L_k = 20$ см

Розв'язок інтегральних рівнянь (5.44)

Згідно [4-2] $\int \sqrt{a^2 - z^2} dz = \frac{1}{2} a^2 \arcsin \frac{z}{a} + \frac{1}{2} z \sqrt{a^2 - z^2} + c$, $a = \sqrt{R_c^2 - x^2}$.

$$\begin{aligned}
V_{\rho_2} &= 2 \int_0^{\sqrt{R_\partial^2 - (R_\partial - a)^2}} \left[\int_{-\sqrt{R_\partial^2 - x^2}}^{-(R_\partial - a)} \left(\sqrt{R_c^2 - (x^2 + z^2)} - \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right) dz \right] dx = \\
&= 2 \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[\int_{(R_\partial - a)}^{\sqrt{R_\partial^2 - x^2}} \left(\sqrt{R_c^2 - (x^2 + z^2)} - \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right) dz \right] dx = \\
&= 2 \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[\frac{1}{2} (R_c^2 - x^2) \arcsin \frac{z}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} + \right. \\
&\quad \left. + \frac{1}{2} z \sqrt{R_c^2 - x^2 - z^2} - 2z \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right]_{z=R_\partial - a}^{z=\sqrt{R_\partial^2 - x^2}} dx = \\
&= \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[(R_c^2 - x^2) \arcsin \frac{z}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} + \right. \\
&\quad \left. + z \sqrt{R_c^2 - x^2 - z^2} - 2z \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right]_{z=R_\partial - a}^{z=\sqrt{R_\partial^2 - x^2}} dx = \\
&= \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[(R_c^2 - x^2) \left(\arcsin \frac{\sqrt{R_\partial^2 - x^2}}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} - \arcsin \frac{R_\partial - a}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} \right) + \right. \\
&\quad \left. + \sqrt{(R_c^2 - R_\partial^2)(R_\partial^2 - x^2)} - \right. \\
&\quad \left. - (R_\partial - a) \sqrt{R_c^2 - (R_\partial - a)^2 - x^2} - 2\sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \left[\sqrt{R_\partial^2 - x^2} - (R_\partial - a) \right] \right] dx = \\
&= \int_0^{\sqrt{2R_\partial a - a^2}} \left[(R_c^2 - x^2) \left(\arcsin \frac{\sqrt{R_\partial^2 - x^2}}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} - \arcsin \frac{R_\partial - a}{\sqrt{R_c^2 - x^2}} \right) - \right. \\
&\quad \left. - \sqrt{(R_c^2 - R_\partial^2)(R_\partial^2 - x^2)} + \right. \\
&\quad \left. + (R_\partial - a) \left(2\sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} - \sqrt{R_c^2 - (R_\partial - a)^2 - x^2} \right) \right] dx.
\end{aligned}$$

(1)

$$\begin{aligned}
V_{\rho_1} &= V_{\mathcal{M}} \int_{R_\partial - a}^{R_\partial} (\sqrt{R_c^2 - z^2} - \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2}) dz = \\
&= \left(\frac{1}{2} R_c^2 \arcsin \frac{z}{R_c} + \frac{1}{2} z \sqrt{R_c^2 - z^2} - z \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} \right) \Big|_{R_\partial - a}^{R_\partial} = \\
&= \frac{1}{2} R_c^2 \left(\arcsin \frac{R_\partial}{R_c} - \arcsin \frac{R_\partial - a}{R_c} \right) - a \sqrt{R_c^2 - R_\partial^2} = \\
&= 0,125 V_{\mathcal{M}} D_c^2 \left(\arcsin \frac{D_\partial}{D_c} - \arcsin \frac{0,5 D_\partial - a}{0,5 D_c} \right) - 0,5 a \sqrt{D_c^2 - D_\partial^2}
\end{aligned} \quad . \quad (2)$$

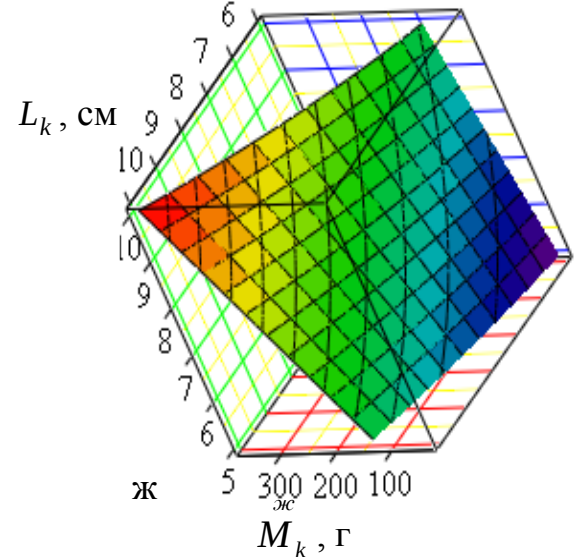
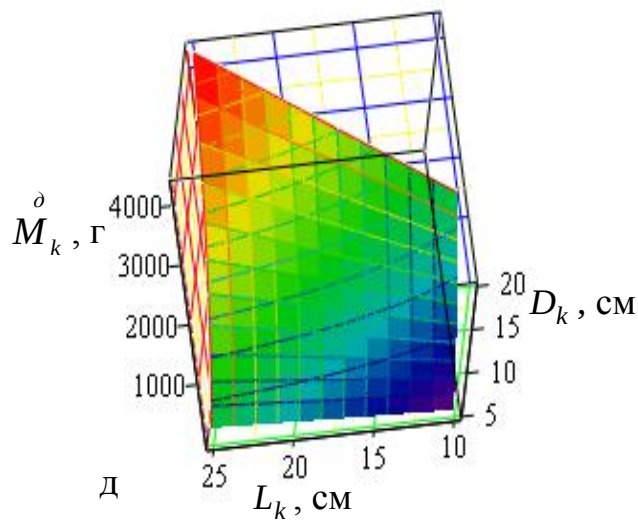
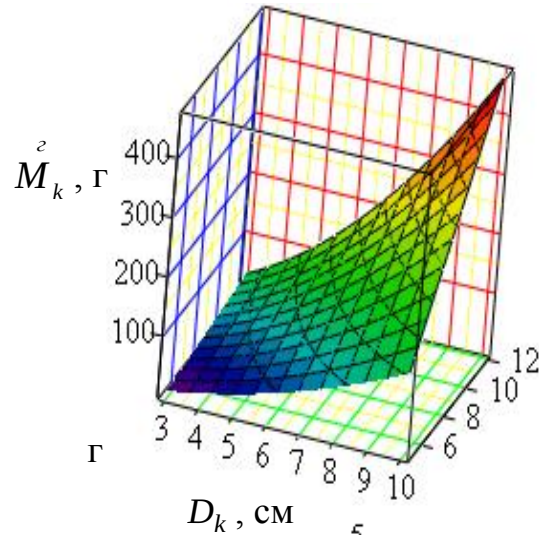
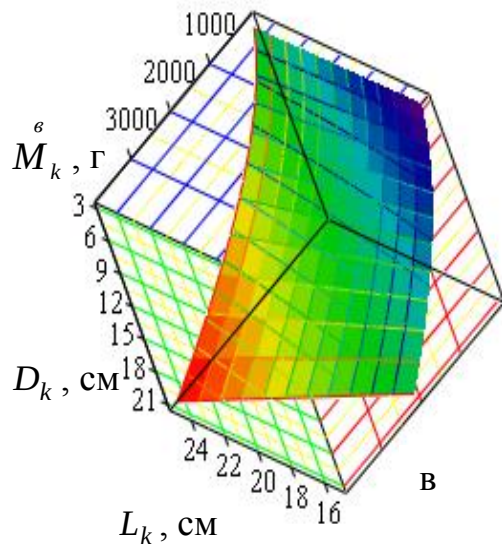
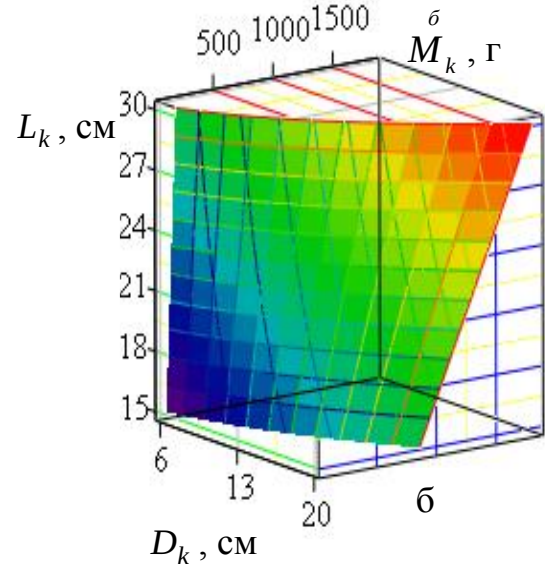
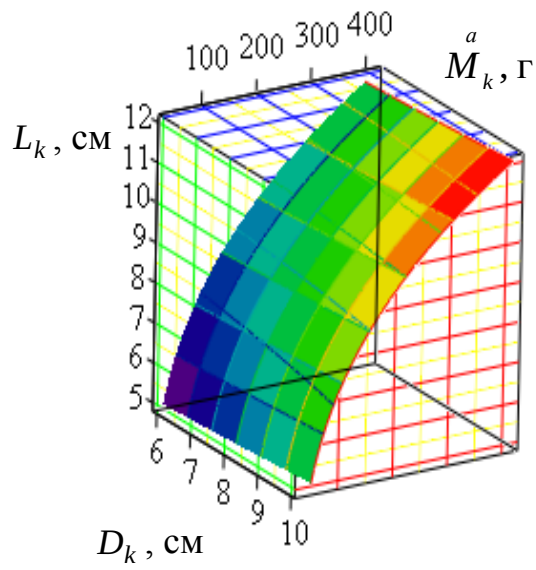


Рис. 7.Д.2.1. Поверхні залежності маси M_k^a , $M_k^б$, $M_k^в$, $M_k^г$, $M_k^д$, $M_k^ж$ від діаметра D_k та загальної довжини L_k коренеплоду

Додаток Д.3.1.

Порядок спрощення залежності (5.94)

$$\begin{aligned}
F_{k.n} &= m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{2\pi m z \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{z_o \omega_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right)} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \\
&+ \frac{2\pi m z \omega_o (a^2 + l^2)}{3z_o \omega_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) = m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \times \\
&\times \left[1 + \frac{2\pi z \rho \cos \varphi}{z_o \omega_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \cos \beta} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \right. \\
&\left. + \frac{2\pi z \rho (a^2 + l^2)}{3z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \cos^2 \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) \left(\frac{dt}{dV_k} \right) \right] = \\
&= \frac{2\pi m z \rho \operatorname{ctg} \beta}{z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right)} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \times \\
&\times \left[\frac{z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \cos \beta}{2\pi z \rho} + \frac{\cos \varphi}{\omega_o} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{(a^2 + l^2)}{3\rho \cos \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dV_k} \right) \right] \leq [P_n]. (1.Б.8.2)
\end{aligned}$$

Порядок спрощення залежності (5.95)

$$\begin{aligned}
F_{k.k} &= m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{2\pi m z \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{z_o \omega_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right)} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \\
&+ \frac{2\pi m z \omega_o (l^2 / 3 + R_n^2)}{4z_o \omega_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) = m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \times \\
&\times \left[1 + \frac{2z \rho \cos \varphi}{z_o \omega_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \cos \beta} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \right. \\
&\left. + \frac{\pi z (l^2 / 3 + R_n^2)}{2z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \cos^2 \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dt} \right) \left(\frac{dt}{dV_k} \right) \right] = \\
&= \frac{2\pi m z \rho \operatorname{ctg} \beta}{z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right)} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \times \\
&\times \left[\frac{z_o \left(d_k + 2\sqrt{2\rho h_k - h_k^2} \right) \cos \beta}{2\pi z \rho} + \frac{\cos \varphi}{\omega_o} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{(l^2 / 3 + R_n^2)}{4\rho \cos \beta \cos \varphi} \left(\frac{d\omega_o}{dV_k} \right) \right] \leq [P_n]. (2.Б.8.2)
\end{aligned}$$

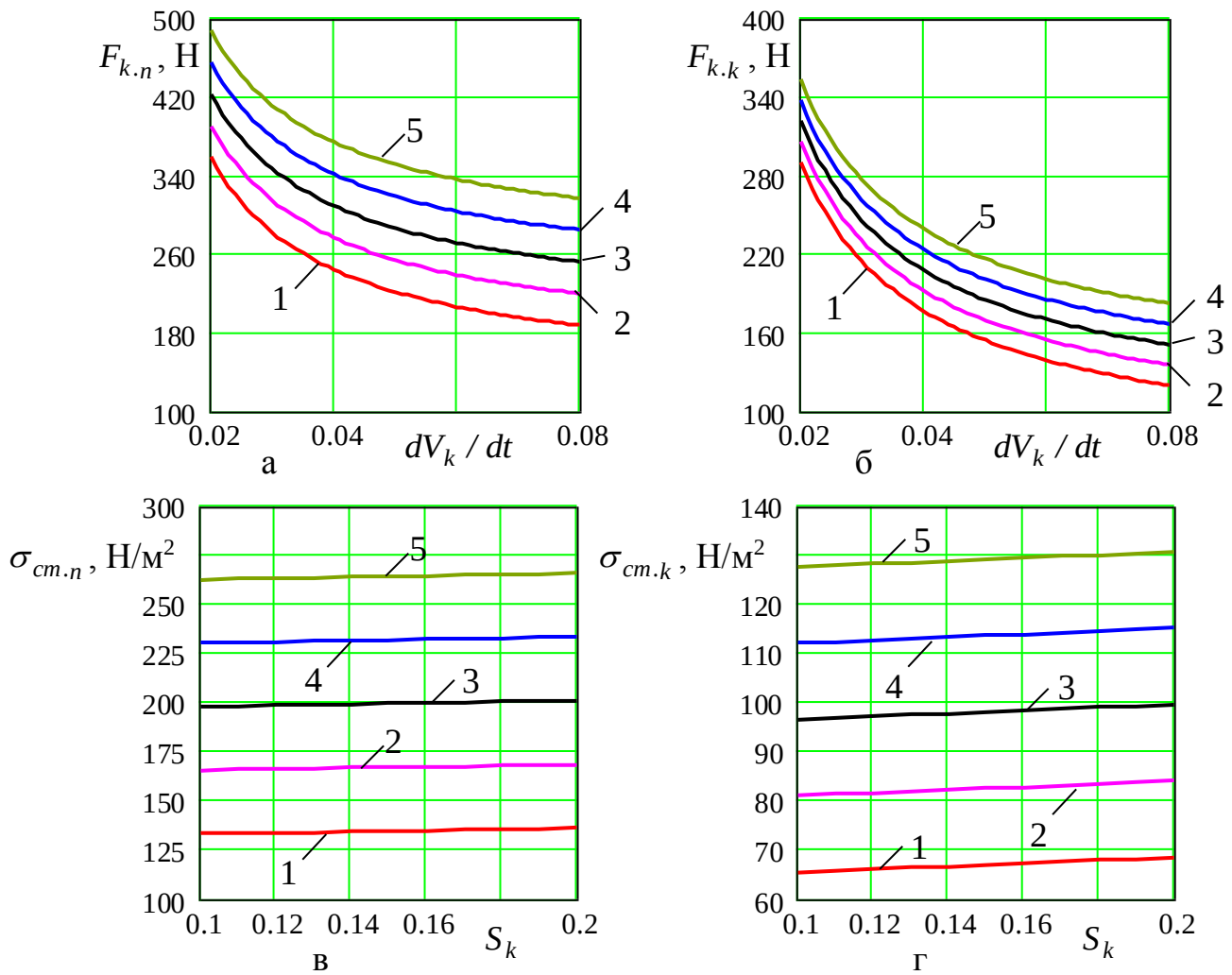


Рис. 1.Д.3.1. Залежність зміни $F_{k,i} = f(dV_k / dt)$ (а, б) і $\sigma_{cm,i} = f(S_k)$ (в, г):

1, 2, 3, 4, 5 – відповідно, при $\omega_o = 40, 50, 60, 70, 80$ рад/с

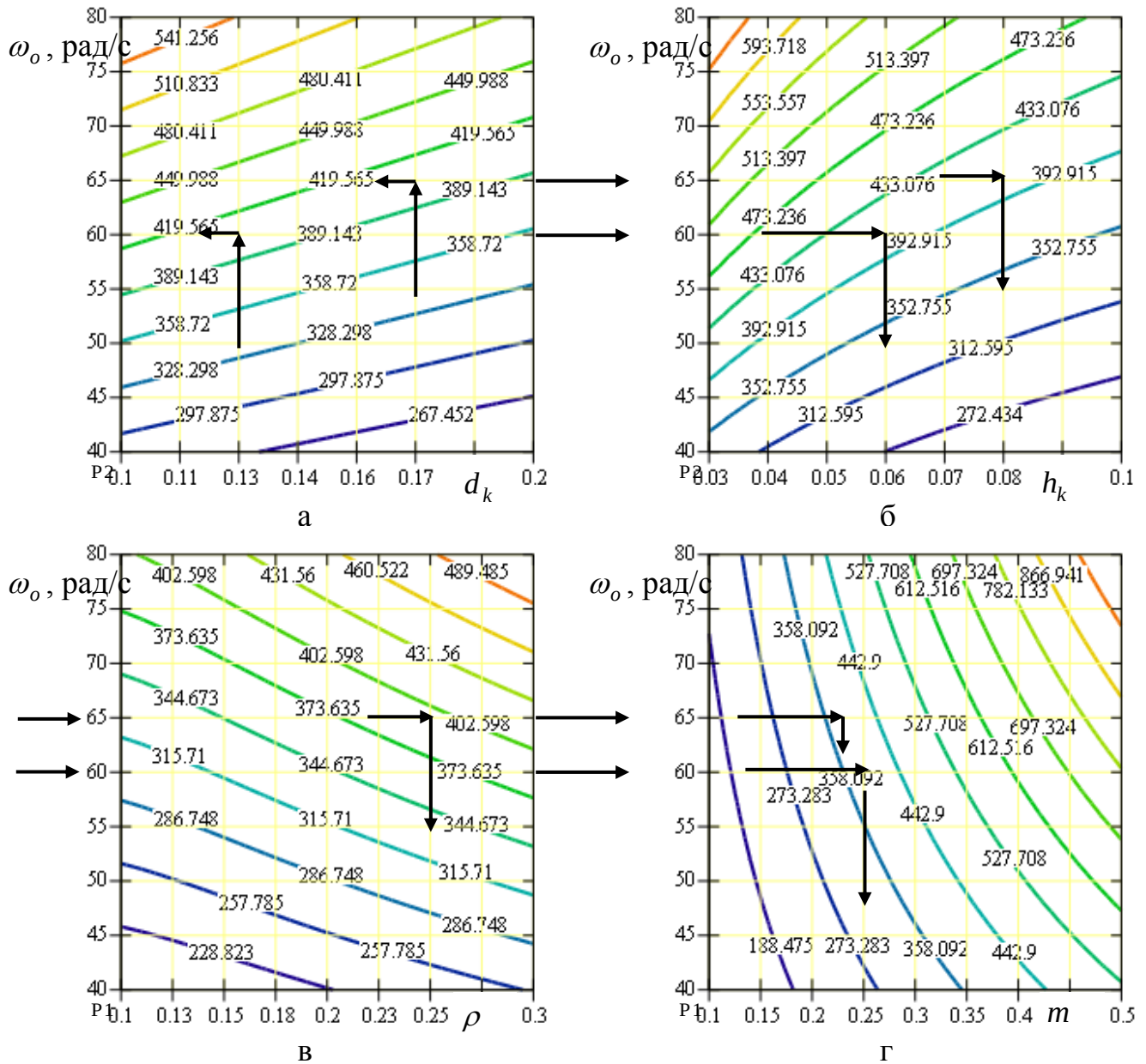


Рис. 2.Д.3.1. Залежності зміни сили вивалювання коренеплодів:

а - $F_{k,n} = f(d_k, \omega_o) \leq [P_h]$; б - $F_{k,n} = f(h_k, \omega_o) \leq [P_h]$;в - $F_{k,n} = f(\rho, \omega_o) \leq [P_h]$; г - $F_{k,n} = f(m, \omega_o) \leq [P_h]$

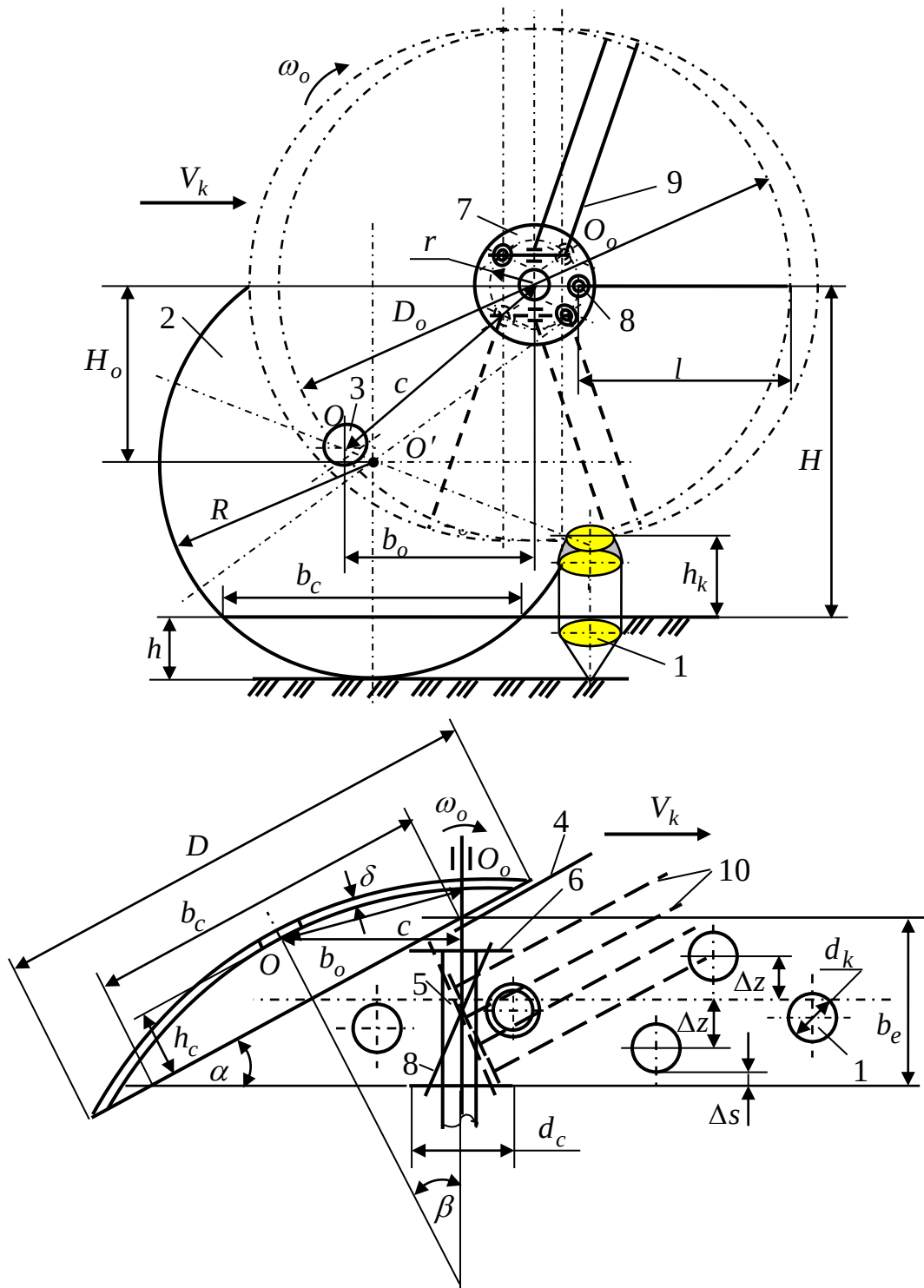


Рис. 3.Д.3.1. Схема до обґрунтування параметрів комбінованого однодискового сферичного копача кормових буряків: 1 – коренеплід; 2 – односторонній сферичний диск; 3 – вісь обертання диска; 4 – корененапрямляч; 5 – горизонтальний приводний вал; 6 – фланець; 7 – барабан; 8 – вісь; 9 – очисна лопать; 10 – бітер

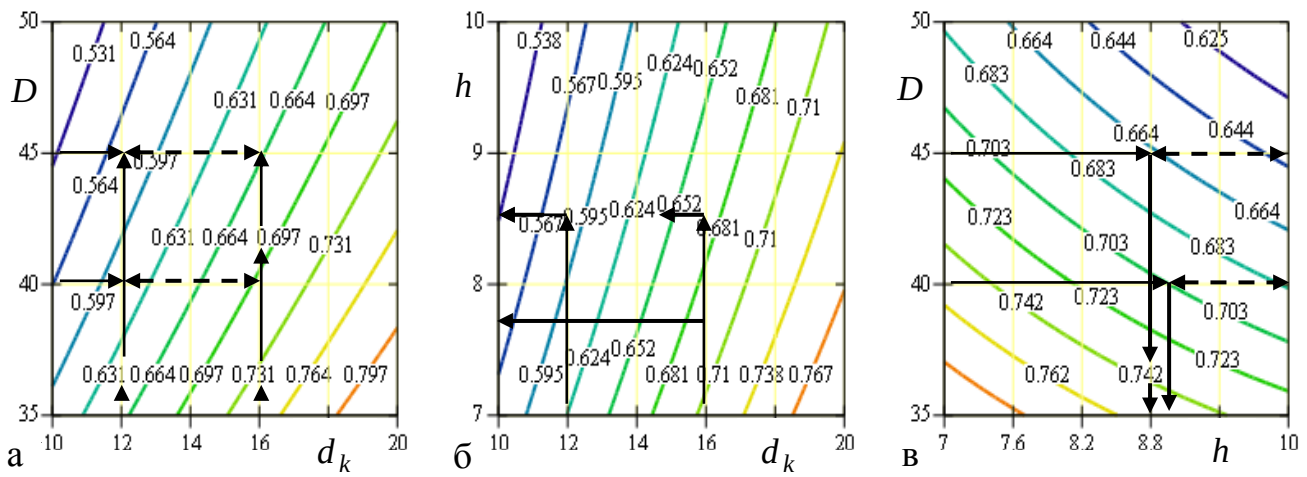


Рис. 4.Д.3.1. Залежності зміни кута α (рад.) встановлення викопуючого диска: а – $\alpha \geq f(d_k, D)$; б – $\alpha \geq f(d_k, h)$; в – $\alpha \geq f(h, D)$

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет [Погорелый Л.В., Татьянко Н.В., Брей В.В.и др.] ; под ред. Л.В. Погорелого. – К. : Техніка, 1983. – 168 с.
2. Адамчук В.В. Про розробку і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня/ В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, В.В. Іванишин // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – Вип. 11. – Т. 2 (66). – С. 8–14.
3. Василенко П.М. О методике механико-математических изысканий при разработке проблем сельскохозяйственной техники / П.М. Василенко. – М. : БТИ ГОСНИТИ, 1962. – 230 с.
4. Рижук С.М. Система машин в АПК – концепція і стратегія розвитку / С.М. Рижук Я.С. Гуков, Л.В. Погорілий // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха : ННЦ «ІМЕСГ», 2002. – Вип. 86. – С. 5–12.
5. Дубровин В. Интенсификация процесса разработки адаптированной корнеуборочной машины / Валерий Дубровин, Геннадий Голуб, Виктор Барановский [та др.] // MOTROL COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETIC IN AGRICULTURE. – LUBLIN-PRESZOW, 2013. – Vol. 15. – № 3. – С. 243–255.
6. Гуков Я.С. Стан механізації сільськогосподарського виробництва в Україні // Я.С. Гуков, М.І. Грицишин // Механізація сільськогосподарського виробництва // К. : НАУ, 2003. – Т. XIV. – С.64–70.
7. Погорілий Л.В. Сучасні проблеми землеробської механіки і машинознавства при створенні сільськогосподарської техніки нового покоління / Л.В. Погорілий // Механізація сільськогосподарського виробництва // Х. : ХДТУСГ, 2003. – Вип. 20. – С. 10–28.
8. Гурченко О.П. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А / О.П. Гурченко, В.М. Барановський // Механізація та електрифікація сільського господарства. – К. : “Урожай”, 1995. – Вип. 81. – С. 57–60.

9. Cesnieks Sandris. Optimisation parameters of soil tillage aggregates // Sandris Cesnieks, Arvids Vilde, Adolfs Rueins // *Механізація сільськогосподарського виробництва* // К. : НАУ, 2003. – Т. XV. – С.121–129.
10. Корнеев Г.В. Прогрессивные способы уборки и борьбы с потерями урожая / Г.В. Корнеев, А.П. Тарасенко [2-е изд., доп. и испр.]. – М. : Колос, 1973. – 175 с.
11. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко, С.В. Синій, В.М. Булгаков [та ін.]. – Луцьк, 1999. – 168 с.
12. Гречкосій В.Д., Лавриненко О.Т. Забезпечення та використання сільськогосподарської техніки у селянських (фермерських) господарствах / В.Д. Гречкосій, О.Т. Лавриненко // *Наук. вісник НАУ*. – К. : НАУ, 2000. – Вип 33. – С. 73-75.
13. Барановський В.М. Основні етапи та загальні принципи сучасних тенденцій розвитку коренезбиральних машин / В.М. Барановський // *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. – Тернопіль : ТДТУ, 2006. – Т. 11. – № 2. – С. 67–75.
14. 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.
15. 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 : ТДТУ, 2004. – С. 192–198.
16. Mindin R.D. Effects of an oscillating tangential force on the contact surfaces of elastic spheres. / R.D. Mindin, W.P. Mason, Derisiewicz H. Proc. – First. Nat. Cong. Appl. Mech. – Chicago, 1951. – p. 203–208.
17. Василенко А.А. Бурякозбиральні машини ОНТИ / Василенко А.А. Держ. наук.-техн. видавництво України. – Київ-Харків, 1937. – 340 с.
18. Василенко А.А. Шляхи створення радянського бурякозбирального комбайна / Василенко А.А. // *Наукові праці інституту машинознавства і сільськогосподарської механіки*. – Том II. – 1950. – 54 с.

19. Машины для свекловодства / А.Г. Цымбал, Н.В. Татьяна, В.С. Басин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1976. – 368 с.
20. О механизации сельского хозяйства США и Канады / М : ЦБТИ, 1955. – 128 с.
21. Василенко М.П. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К. : Из-во Укр. акад. с.-х. наук, 1960. – 283 с.
22. Mindin R.D. Calculation of mass descriptions of root crops / R.D. Mindin // Proc. First. at. Cong. Appl. Mech. – Chicago, 1953. – p. 25–30.
23. Kanafojski Cz., Karwowski T. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych / Cz. Kanafojski, T. Karwowski. Maczyny do zbioru ziemniopłodow. – Warszawa : PWRiL, 1972. – T.2. – 933 str.
24. Ždarsky I. Biologické a fyzikálne mechanické vlastnosti cukrovky z hľadiska mechanizácie sklirne / I. Ždarsky / Zemědělska technika, 1964. – № 11. S. 657–672.
25. Аванесов Ю.Б. Современные методы и средства механизации уборки сахарной свеклы / Ю.Б. Аванесов. – М. : ВНИИТЭИагропром, 1987. – 52с.
26. Аванесов Ю.Б. Свеклоуборочные машины / Ю.Б. Аванесов, В.И. Бессарабов, И.И. Русанов. – М., 1979. – 351 с.
27. 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.
28. Погорелый Л.В. Системный принцип прогнозирования типажа свеклоуборочных машин / Л.В. Погорелый // Механизация и электрификация соц. сельск. хоз-ва. – 1975. – № 9. – С. 6–11.
29. Хеллер К. Потери сахарной свеклы при механизированной уборке / К. Хеллер // Сельское хозяйство за рубежом: растениеводство. М., 1961. – № 7.
30. Татьяна Н.В. Некоторые вопросы динамики ботвострезающих аппаратов свеклоуборочных машин / Н.В. Татьяна // М. : Тр. ВИСХОМ, УкрНИИСХОМ, 1969. – Вып. VI.

31. Татьянако Н.В. К расчету очистителя сахарной свеклы комкодробящего типа / Н.В. Татьянако // Тракторы и с.-х. машины. – 1968. – № 10.
32. Коньгин А.А. Фермерское хозяйство США / Коньгин А.А. – М. : ВШ “Агропромиздат”. – 1989. – 207 с.
33. Ушаков А.Ф. Комплексная механизация уборки сахарной свеклы. Монография / А.Ф. Ушаков. – К. : Изд-во УАСХН., 1969. – 245 с.
34. Татьянако Н.В. Выбор размера бункера свеклоуборочного комбайна / Н.В. Татьянако // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. – 1987. – № 5. – С. 53.
35. Козібрда Я.І. Тенденції розвитку машин для збирання цукрових буряків / Я.І. Козібрда. – Тернопіль : Збруч, 1996. – 91 с.
36. Lanovsky M. Fyzikalne vlastnosti cukrovky / M. Lanovsky, I. Ždarsky – Zemědělska technika. – 1966. – № 3. – S. 331–340.
37. Татьянако Н.В. Раздельная уборка сахарной свеклы / Н.В. Татьянако, Л.В. Погорелый, А.Г. Цымбал // Сахарная свекла. – 1972. – № 1. – С. 24–28.
38. Сельское хозяйство Великобритании. М. : ВИНТИ, 1969. – 67 с.
39. Krumov I. Varringerung der Verluste beider Zuckerrübenerte / I. Krumov // Akademie Landwirtschaftswissenschaften der DDR Tagungsbericht. – 1985. – Bd 1. – № 229. – S. 163–168.
40. Zuckerrüben – Erntesystem sechsreihig: Köpfroder KR 6-II. – Franz Kleine, Maschinenfabri K GmbH Co, 1987. – 4 s.
41. 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.
42. Гандзюк М.О. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів доочисника коренеплодів: дис...кандидата техн. наук : 05.05.11 / Гандзюк Микола Олексійович. – Луцьк, 2002. – 163 с.
43. Барановський В.М. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів гвинтово-вальцювого очисника вороху кормових буряків: дис...кандидата техн. наук : 05.20.01 / Барановський Віктор Миколайович. – Київ, 1996. – 275 с.
44. Bulich C. Biotechnische Einflussfaktoren auf die Köpfgualität von Zuckerrüben: inang. diss.../ C. Bulich. – Bonn, 1990. – 153 s.

45. Модульно-блочные уборочно-транспортные машины нового поколения / Л. Погорелый Л., С. Коваль, В. Шуринов [и др.] // Техніка АПК. – 1999. – № 1. – С. 6.

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

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

48. Механизация производства сахарной свеклы // Маковецкий О.А., Брей В.В., Погорелый Л.В. и др. . – К. : Урожай, 1991. – 184с.

49. Перспективи удосконалення засобів механізації збирання цукрових буряків / М. Роїк, А. Мазуренко, О. Калайджан [та ін.] // Техніка АПК. – 1999. – № 3. – С. 16–22.

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

51. Спеціальні комбайни / М.В. Тудель, Б.О. Козаченко, В.Г. Герасимчик [та ін.]. – К. : “Урожай”, 1988. – 184 с.

52. Гурченко О.П., Барановський В.М. Для збирання кормових буряків / О.П. Гурченко, В.М. Барановський // Механізація сільського господарства. – 1988. – :№ 9. – С. 21.

53. Механізоване збирання кормових буряків / А.С. Кобець, О.П. Гурченко, В.М. Барановський [та ін.]. // Механізація сільського господарства. – 1985. – № 10. – С. 6–7.

54. Погорілий М. Закономірності розвитку бурякозбиральної техніки та обґрунтування раціональних обрисів вітчизняних машин / Максим Погорілий // Техніка АПК. – 1999. – № 3. – С. 8–12.

55. Thompson F. Sugar Beet harvesting machine / F. Thompson // British Sugar Beet Review. – 1987. – Vol. 55. – № 4. – P. 59.

56. Погорілий М.Л. Підвищення експлуатаційно-технологічних характеристик бурякозбиральних машин та формування зональних комплексів / М. Л. Погорілий // Техніка АПК. – 1998. – № 3. – С. 16–17.

57. Гурченко О.П. Стан і прогноз розвитку техніки для збирання буряків по валковій технології / О.П. Гурченко // Збірник наукових праць національного аграрного університету. – К. : НАУ, 2000. – Т. 7. – С. 217–275.

58. Про шляхи подальшого розвитку збирання цукрових буряків / А.С. Ковальчук, В.І. Кравчук, В.М. Булгаков [та ін.] // Вісник Національного аграрного університету. – Т. 2 “Перспективні технології вирощування та збирання цукрових буряків”. – 1997. – С. 3–8.

59. Булгаков В.М. Бурякозбиральна техніка: стан і перспективи її створення / В.М. Булгаков // Техніка АПК. – 1995. – № 3. – С. 5–6.

60. Хвостов В.А. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет) / В.А. Хвостов, Э.С. Рейнгарт. – М. : 1995. – 391 с.

61. ГЕВКО Р.Б. ВИКОПУВАЛЬНО-ОЧИСНІ ПРИСТРОЇ БУРЯКОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН. КОНСТРУЮВАННЯ І РОЗРАХУНОК / Р.Б. ГЕВКО. – ТЕРНОПІЛЬ : ПОЛІГРАФІСТ, 1997. – 120 С.

62. Войтюк Д.Г. Универсальный комплекс свеклоуборочных машин для фермерских хозяйств / Д.Г. Войтюк // Вісник аграрної науки. – 1995. – № 9. – С. 93–98.

63. Козаченко О.В. Дослідження затрат механічної енергії машинами сільськогосподарського призначення на вирощуванні продукції рослинництва / О.В. Козаченко // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2004. – Вип. 88. – С. 91–98.

64. Кравчук В.І. Наукові аспекти адаптації сільськогосподарських машин в керованих технологіях землеробства / В.І. Кравчук // Механізація та електрифікація сільського господарства. ННЦ “ІМЕСГ”. – Вип. 88. – Глеваха, 2004. – С. 334–343.

65. Морозов І.В. Основи теорії сільськогосподарських машин / І.В. Морозов // Х. : Ред. вид. підприємство «Оригінал», 1992. – 113 с.

66. Рибак Т. Прогнозування ресурсу роботи мобільних сільськогосподарських машин на основі триєдиної моделі оптимального конструювання / Т. Рибак, А. Бабій, П. Попович // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль : ТНТУ, 2011. – Т. 16. – № 3. – С. 77–85.

67. Гаркавий А.Д. До методики сертифікації технологій і проектування виробничих процесів у землеробстві / А.Д. Гаркавий, Я.С. Гуков, І.П. Масло //

Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2002. – Вип. 86. – С. 13–19.

68. Цурпал И.А. О создании нового свеклоуборочного комплекса машин для фермерских хозяйств / И.А. Цурпал, В.М. Булгаков, С.В. Финько // Зб. науч. тр. „Аграрная наука УГАУ: проблемы, поиск, достижения”. – К. : УГАУ, 1993. – С. 16.

69. Системний аналіз при вирішенні технологічної задачі виробництва сільськогосподарської продукції / Д.Г. Войтюк, М.Л. Крижачківський, І.А. Шевченко [та ін.] // Наук. вісник НАУ. – Т 10. – К. : НАУ, 2001. – С. 84–92.

70. Булгаков В.М. Моделирование процесса вибрационного извлечения корнеплода сахарной свеклы из почвы / В.М. Булгаков, И.В. Головач // Наук. вісник НАУ. – Вип 80. – К. : НАУ, 2005. – С. 313–324.

71. Петров Г.Д. Технология и машины для уборки кормовых корнеплодов / Г.Д. Петров, В.Т. Амеличев, Л.И. Левчук // Тракторы и сельхозмашины. – 1969. – № 10. – С. 27–28.

72. Хелемендик М.М. Підвищення механіко-технологічної ефективності трудомістких процесів у буряківництві : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механізація сільськогосподарського виробництва” / М.М. Хелемендик. – Луцьк, 1996. – 33 с.

73. Шабельник Б.П. Обобщенный критерий оптимизации рабочего процесса свеклоуборочной машины / Б.П. Шабельник, В.М. Мартынов, В.Н. Полупанов // Тракторы и сельхозмашины. – № 10. – 1987. – С. 40–42.

74. Шабельник Б.П. Теорія і практика обґрунтування параметрів робочих органів бурякозбиральних машин / Б.П. Шабельник. – Х., 2001. – 314 с.

75. Булгаков В.М. Математичне моделювання поздовжніх коливань коренеплоду при вібраційному вилученні з ґрунту / В.М. Булгаков, І.В. Головач, Д.Г. Войтюк // Вибрации в технике и технологиях. – Винница, 2003. – № 1 (27). – С. 11–14.

76. Winner C. Ein Beitrag zur Morphologie und technischen Qualitat des Rubenkopfes, Groe und Form des oberirsichen Teils der Rube / C Winner, I. Feurabend. – Zucker. – 1970. – № 23. – S. 500–504.

77. Барановський В.М. Конструктивно-технологічні принципи застосування адаптивного викопувального робочого органу коренезбиральної машини / В.М. Барановський // Науковий вісник НАУ. – 2004. – Вип. 73, част 1. – С. 249–255.

78. Барановський В.М. Конструктивно-технологічні принципи адаптизації транспортно-очисного комбінованого робочого органа коренезбиральних машин / В.М. Барановський // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ, 2005. – Вип. 13. – С. 18–24.

79. Погорілий Л.В. Фізико-механічні властивості коренів цукрових буряків у зв'язку з механізацією процесу їх збирання / Л.В. Погорілий, В.В. Брей // Вісник сільськогосподарської науки. – 1971. – №3. – С. 31–37.

80. Погорілий М.Л. Механічні характеристики ґрунтово-коренеплідного середовища цукрових буряків в умовах динамічного навантаження / Л.В. Погорілий // Міжвід. науково-техн. зб. – Кіровоград, 1995. – С. 150–158.

81. Барановський В.М. Розрахунок масових характеристик коренеплідів / В.М. Барановський, Н.А. Дубчак, М.Р. Паньків // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ, 2007. – Вип. 15. – С. 30–43.

82. Хелемский М.З. Влияние новых свеклоуборочных машин на технологические качества сахарной свеклы / М.З. Хелемский, Е.Г. Томиленко, Л.В. Погорелый // Сахарная промышленность. – 1975. – № 11. – С. 58–63.

83. Погорілий М.Л. Моделювання експлуатаційно-технологічних характеристик бурякозбиральних комплексів при різних способах збирання врожаю / Л.В. Погорілий // Зб. наукових праць НАУ. – К. : НАУ, 1998. – Т. 9. – С. 175–182.

84. Вовк П.Ф. Агрофизические свойства корней свеклы в связи с механизацией уборки / П.Ф Вовк. – М. : Сельхозгиз, 1936. – Т. II.

85. Gerlach K. Die Arbeitskette geschlossen halten Zohnunternehmen Zand und Torstwirtschaft / K. Gerlach. – Technik der Futterrübenenernte. – 1985. – № 10. – S. 540–541.

86. Кравчук В.І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин / В.І. Кравчук // Монографія. – К. : НАУ, 2005. – 208 с.

87. Погорілий Л.В. 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. – № 1. – С. 64–69.

88. Шевцов І.А., Біологія і агротехніка кормових буряків / І.А. Шевцов, А.М. Фомічов. – К. : Наукова думка, 1980. – 250 с.

89. Довідник з механізації овочівництва / І.Ф. Савченко, О.М. Гринь, О.Р. Шумер [та ін.] – К. : Урожай. 1986. – 232 с.

90. Барановський В.М. Удосконалений комбінований робочий орган для викопування коренеплодів / В.М. Барановський, М.Р. Паньків, В.Ю. Рамш // Науковий журнал. Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2008. – Т. 13. – № 2. – С. 61–73.

91. Гринь О.М. Механізація виробництва овочів / О.М. Гринь. – К. : "Урожай", 1990. – 248 с.

92. Погорілий М.Л. Підвищення технологічної ефективності бурякозбиральних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / М.Л. Погорілий. – К. : НАУ, 2001. – 21 с.

93. Хвостов В.А. Определение почвенных примесей системой корнеизвлекающих и сепарирующих рабочих органов / В.А. Хвостов // Рабочие органы и устройства для возделывания, уборки и послеуборной обработки корнеклубнеплодов. – М. : НПО ВИСХОМ. – 1990. – С. 61–65.

94. Петров Г.Д. Современные технические средства для уборки столовых корнеплодов и перспективы их развития / Г.Д. Петров, А.А. Хвостов, Л.И. Левчук // Тракторы и сельхозмашины. – М., 1982. – № 5. – С. 6–9.

95. Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин / М.М. Хелемендик. – К. : Аграрна наука, 2001. – 280 с.

96. Погорілий М.Л. Технологічні принципи інтенсифікації робочих процесів і удосконалення бурякозбиральних машин / М.Л. Погорілий // Зб. наук. праць НАУ. – К. : НАУ, 1999. – Т. V. – С. 379–387.

97. Гречка В. Сучасні тенденції розвитку конструкцій для збирання цукрових буряків / В.Гречка, П. Войтюк, В. Куліш / Пропозиція. – 2003. – № 11. – С. 96–98.

98. Погорілий М.Л. Аналіз напрямків розвитку та ефективності сучасних бурякозбиральних машин / М.Л. Погорілий // Удосконалення системи машин та випробувань сільськогосподарської техніки: Зб. наук. робіт. – Дослідницьке : УкрЦВТ, 1993. – С. 186–198.

99. А. с. № 1650025 (СССР).

100. А. с. № 1318193 (СССР).

101. А. с. № 1029868 (СССР).

102. А. с. № 1450777 (СССР).

103. Патент № 2618570 (ФРГ).

104. А. с. № 1521342 (СССР).

105. А. с. № 1287768 СССР).

106. Патент № 4828039 (США).

107. Патент № 2182232 (Великобританія).

108. Патент № 3008609 (ФРГ).

109. Погорілий М.Л. Підвищення динамічної активності і технологічної ефективності копачів бурякозбиральних машин / М.Л. Погорілий // Зб. наук. праць НАУ. – К. : НАУ, 2000. – Т. 8. – С. 56–66.

110. Роїк М. Бурякозбиральна техніка і національна економічна незалежність / М.Роїк, А. Мазуренко, А. Маланчин // Пропозиція. – 2000. – № 7. – С. 88–90.

111. Роїк М. Зберемо врожай цукрових буряків вітчизняною технікою / М.Роїк, А. Мазуренко // Пропозиція. – 2001. – № 7. – С. 96–100.

112. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини : Підручник / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк. – К. : Каравела, 2004. – 552 с.

113. Гурченко О.П. Конструювання універсальної коренезбиральної машини / О.П. Гурченко, В.М. Барановський, А.С. Кобець // Вісник ХДТУСГ. “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”. – Х. : ХДТУСГ, 2001. – Вип. 8. – Т. 2. – С. 63–68.

114. Гевко Р.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: дис... докт. техн. наук : 05.20.01 / Гевко Роман Богданович. – К., 2000. – 362 с.

115. Герасимчик В.Г. Определение основных параметров копачей корнеуборочных машин / В.Г. Герасимчик // Сб. научных трудов УНИИМЭСХ. – К., 1962. – Том IV. – С. 25–33.

116. Протокол державних приймальних випробувань № 2-55-2000 (1071400). – Магерів, 2000. – 16 с.

117. Гевко Р.Б. Оптимізація конструктивних параметрів дискових копачів / Р.Б. Гевко, О.Б. Павельчак // Наук. вісник НАУ.–К.: НАУ, 1997. – Вип. 9. – С. 356–365.

118. Погорілий М. Бурякозбиральна техніка нового покоління: сучасний стан, новітні зарубіжні машини та напрями технологічного удосконалення вітчизняних / Максим Погорілий // Техніка АПК. – 1997. – № 4. – С. 12–14.

119. Davis P. Statistical analysis of the shape and cutting of sugar beet crowns / P. Davis, D. Higgs // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1977. – Vol. 22. – № 1. – P. 9–25.

120. Fechler P. Hinweise und Erfahrungen zur Senkung der Ernte-verluste beim Kopfen von Zuckerruben mit dem Kopflader / P. Fechler // Landtechnik Information. – 1977. – Vol. 16. – № 10. – P. 170–172.

121. А. с. № 1426489 (СССР).

122. А. с. № 1382422 (СССР).

123. Патент № 2165733 (Великобританія).

124. А. с. № 1079203 (СССР).

125. А. с. № 1676495 (СССР).

126. А. с. № 1690558 (СССР).

127. Панченко А.Н. Новый копач для выкопки корнеплодов сахарной свеклы / А.Н. Панченко, И.Е. Кравченко // Праці ТДАА. – Мелітополь, 2001. – Вип. 2. – Т. 16. – С. 8–12.

128. Герасимчук Г.А. Аналіз конструктивно-технологічних аспектів робочих органів для викопування кормових буряків / Г.А. Герасимчук, В.М. Барановський, В.М. Шейко // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ, 2009. – Вип. 24. – С. 64–77.

129. Барановський В.М. Адаптований викопувально-транспортний комбінований робочий орган / В.М. Барановський // Проблеми створення технічної експлуатації машин та обладнання : 2-а Всеукраїнська конф.-семінар докторантів, аспірантів та пошукачів у галузі аграрної інженерії, 7-8 червня 2007 р. : тези доп. – Кіровоград : КДТУ, 2007. – С. 6–7.

130. Булгаков В.М. Розрахунок основних параметрів технологічного процесу збирання буряків / В.М. Булгаков, М.К. Лінник, О.П. Гурченко //

Механізація сільськогосподарського виробництва. – К. : НАУ, 1999. – Том VI „Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин”. – С. 220–225.

131. Основные направления создания конструкций многорядных машин для уборки корнеплодов и лука : обзорная информация, серия “Сельскохозяйственные машины, агрегаты и узлы”. – ЦНИИТЭИтракторсельхозмаш. – 1979. – Вып. 7. – 40 с.

132. Karwowski T. Kompleksowa mechanizacja ziemniakow / T. Karwowski. – Warszawa : PWRiL, 1980. – 228 str.

133. Петров Г.Д. Технология и машины для уборки кормовых корнеплодов / Г.Д. Петров, В.Т. Амеличев, Л.И. Левчук // Тракторы и сельхозмашины. – М., 1969. – № 10. – С. 27–28.

134. Герасимчик В.Г. Збираючи столові корнеплоди / В.Г. Герасимчик // Механізація сільського господарства. – 1987. – № 9. – С. 18–19.

135. А.с. № 1672964, СССР, МКИ А 01D 25/04. Устройство для выкапывания корнеплодов / Гурченко А.П., Барановский В.Н., Завгородний А.Ф., Булгаков В.М. – Оpubл. 07.08.92. – Бюл. № 32. – 3 с.

136. Патент № 7359, Україна, МКИ А 01D 25/04. Пристрій для викопування корнеплодів / Гурченко О.П., Барановський В., Завгородній А.Ф., Булгаков В.М. – Оpubл. 29.09.1995. Бюл. № 3. – 1995. – 3 с.

137. Барановский В.Н. Адаптированный комбинированный копач корнеплодов / В.Н. Барановский, Г.А. Герасимчук. Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : сб. научн. трудов за материалами межд. науч.-техн. конф., 23-24 октября 2009 г. / Министерство с.-х. и продовольствия Республики Беларусь, учрежд. образов. «Белорусский гос. техн. ун-т ; под ред. М.А. Прищепова. – Минск : БГАТУ, 2009. – Т. 2. – Ч. 2. – С. 90–94.

138. Ямков О.В. Обґрунтування параметрів технологічного процесу і робочих органів бурякозбирального агрегату з системним трактором : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машины і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / О.В. Ямков. – К., 2007. – 20 с.

139. Ямков О.В. Визначення профілю мінімальної енергоємності робочої поверхні лемеша коливного копача цукрових буряків / О.В. Ямков // Техніка АПК. – 2006. – № 9–10. – С. 55–57.

140. Булгаков В.М. Совершенствование технологического процесса и машин для уборки корнеплодов свеклы : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук в форме научного доклада : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / В.М. Булгаков. – М., 1993. – 61 с.

141. Погорелый Л.В. Механизация производства сахарной свеклы / Л.В. Погорелый. – К. : Урожай, 1991. – 184 с.

142. Брей В.В. Исследование и разработка механизированного процесса извлечения из почвы корней сахарной свеклы : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / В.В. Брей. – К., 1972. – 32 с.

143. Василенко П.М. Введение в земледельческую механіку / П.М. Василенко. – К. : „Сільгососвіта”, 1996. – 251 с.

144. Василенко П.М. Машиноведение, земледельческая механика и техника в 20-м веке / П.М. Василенко, Л.В. Погорелый, Д.Г. Войтюк // Наук. вісник НАУ. – К. : НАУ, 1997. – Вип. 9. – С. 9–27.

145. Василенко П.М. Вибрационный способ уборки корнеплодов / П.М. Василенко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства – 1970. – № 2. – С 9–13.

146. Давидюк В.П., Теоретико-експериментальні дослідження коливально-вібраційних копачів машини / В.П. Давидюк, Л.В. Погорілий, О.І. Ложкін // Наук. вісник НАУ. – К. : НАУ, 1997. – Вип. 9. – С. 192–204.

147. Брусиловский Ю.Р. Исследование технологического процесса извлечения из почвы корней сахарной свеклы дисковыми копачами : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / Ю.Р. Брусиловский. – М., 1966. – 19 с.

148. Булгаков В.М., Усовершенствованный способ выкапывания корнеплодов свеклы / В.М. Булгаков, П.Ю. Зыков // Тракторы и сельхозмашины. – 1995. – № 11. – С. 32–34.

149. Булгаков В.М., Математична модель викопування коренеплодів цукрових буряків / В.М. Булгаков, Д.Г. Войтюк, І.В. Головач // Вісник аграрної науки. – 2004. – № 11. – С. 40–45.

150. Булгаков В.М. Уточнена теорія викопуючого робочого органу лемішного типу / В.М. Булгаков, І.В. Головач // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Спеціальний випуск 4 (18). – Миколаїв: МДАУ, 2002. – Т. 1. – С. 37–63.

151. Результати експериментального дослідження вібраційного викопування коренеплодів буряків / В.М. Булгаков, І.В. Головач, Д.Г. Войтюк [та ін.] // Наук. вісник НАУ. – К. : НАУ, 2003. – Вип. 60. – С. 86–92.

152. Булгаков В.М. Теорія вібраційного викопування коренеплодів / В.М. Булгаков, І.В. Головач // Механізація сільськогосподарського виробництва. – К. : НАУ, 2003. – Т. XIV. – С. 34–86.

153. Погорелый Л.В. Повышение эксплуатационно-технологической эффективности сельскохозяйственной техники / Л.В. Погорелый. – К. : Техніка, 1990. – 175 с.

154. 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.

155. Фомічов А.М. Сорти і техніка / А.М. Фомічов, Ф.М. Архипов // Хлібороб України. – 1987. – № 4. – С. 24.

156. Фомічов А.М. Кормові коренеплоди / А.М. Фомічов. – К. : Урожай, 1987. – 248 с.

157. Vukov K. Sortenabhängigkeit einiger physikalischen Eigenschaften der Zuckerrube / K. Vukov // Zuckerindustrie. – 1972. – № 22. – S. 376–379.

158. Vukov K. Physik und Chemie der Zuckerrube als Grundlage der Verarbeitungsverfahren / K. Vukov. – Budapest 1972.

159. Погорелый Л.В. Научно-методические принципы обоснования и прогнозирования направлений развития сельскохозяйственной техники нового поколения и гибкие технологические системы / Л.В. Погорелый // Наук. вісник НАУ. – К. : НАУ, 1999. – Т VI. – С. 9–19.

160. Моделі гнучких технологічних процесів сільськогосподарського виробництва / Л.В. Погорілий, В.В. Брей, М.М. Осіпов [та ін.] // Наук. вісник НАУ. – К. : НАУ, 1998. – С. 33–34.

161. Thomson J. Sugar Beet harvesting machine / J. Thomson // British Sugar Beet Review. – 1987. – № 4. – P. 59.
162. Winner C. Zuckerrubenanbau / C. Winner // Verlagsunion Agrar. – 1982.
163. Brinkmann W.. Fakten und Gedankenumb die Zuckerrubenernte / W. Brinkmann // Zuckeruby. – № 41. – 1992. – S. 310–314.
164. Van Kempen Ph. La recolte de terre / Ph. Van Kempen // La Pomme de Terre Francaise. – 1986. – S. 193 – 197.
165. Аналіз тенденцій розвитку робочих органів для сепарації вороху коренеплодів / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський, М.Р. Паньків [та ін.] // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ, 2010. – Вип. 31. – С. 298–305.
166. 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.
167. Барановський В.М. Аналіз процесу роботи доочисних пристроїв коренезбиральних машин / В.М. Барановський, М.Р. Паньків, Н.А. Дубчак // Вісник ТДТУ. – Тернопіль : ТДТУ, 2007. – Т. 12. – № 1. – С. 76–81.
168. Петрикович Ю. Тенденції розвитку сепаруючих пристроїв коренезбиральних машин / Ю. Петрикович, М. Паньків // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ, 2000. – Вип. 7. – С. 115–120.
169. Brinkmann W. Fakten und Gedankenumb die Zuckerrubenernte / W. Brinkmann // Zuckeruby. – № 41. – 1992. – S. 310–314.
170. Павелчак О.Б. Вибір раціональних параметрів транспортера-сепаратора / О.Б. Павелчак, І.Г.Ткаченко, Ю.Б. Гладьо // Механізація сільськогосподарського виробництва. – К. : НАУ, 2000. – Т. 8. – С. 41–47.
171. Петрикович Ю.Я. Тенденції розвитку сепаруючих пристроїв коренезбиральних машин / Ю.Я. Петрикович, М.Р. Паньків // Сільськогосподарські машини. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2000. – Вип. 7. – С. 115–120.
172. Krumov I. Varringerung der Verluste beider Zuckerrübenernte / I. Krumov // Akademie Landwirtschaftswissenschaften der DDR Tagungsbericht. – 1985. – Bd. 1. – № 229. – S. 163–168.
173. Herrmanu K. Rodevorgang im Schwingender Polderschar / K. Herrmanu, J.P. Schuh // Landtechnik. – 4/95. – S. 202–203.

174. Саржанов О.А. Обґрунтування параметрів високопродуктивного конвейера 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. – Х. : ХДТУ, 2002. – 19 с.

175. Шабельник Б.П. Разработка технологического процесса очистки коренеплодов и создание конвейеров-очистителей свеклоуборочных машин : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» /Б.П. Шабельник. – Ростов-на-Дону, 1986. – С. 40.

176. Пилипець М.І. Визначення кінематичних і технологічних параметрів кулачкових транспортно-технологічних систем машин / М.І. Пилипець, І.Б. Гевко, М.Р. Паньків // Вісник ТДТУ. – Т. 3. – № 4. – Тернопіль, 2000. – С. 70–77.

177. 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.

178. Данильченко М.Г. Розробка і дослідження шнекових та роторних очисників коренеплодів бурякозбиральних комплексів : дис...канд. техн. наук : 05.05.11 / Данильченко Михайло Григорович. – Тернопіль, 1992. – 153 с.

179. Барановський В.М. Транспортно-технологічні системи очисних робочих органів адаптованої коренезбиральної машини / В.М. Барановський // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛНТУ, 2013. – Вип. 24. – С. 18–28.

131. Булгаков В.М. Теория свеклоуборочных машин : Монография / В.М. Булгаков, М.И. Черновол, Н.А. Свирень. – Кировоград : "КОД", 2009. – 256 с.

180. Напрямки вдосконалення шнекових очисників вороху / В.М. Барановський, О.В. Барановський, О.М. Постол [та ін.] // Наук. вісник НАУ. – К. : НАУ, 2005. – Вип. 80. – Част. 1. – С. 249–255.

181. Зубков В.Е. Разработка универсального сепаратора корнеклубнеплодов от комков почв / В.Е. Зубков // Научный вестник НАУ. – К. : НАУ, 1998. – Т. 9. – С. 204–209.

182. 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.

183. 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.

184. Барановський В.М. Очисна система вороху коренеплодів / В.М. Барановський, М.Р. Паньків, Н.А. Дубчак // Механізація сільськогосподарського виробництва. – Х. : ХНТУСГ, 2007. – Вип. 59. – Т. 1. – С. 33–36.

185. 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. – Х., 2003. – 20 с.

186. Головач І.В. Розробка вдосконаленої очистки причіпної коренезбиральної машини / І.І. Головач, В.Г. Присяжний, Marian Weselowski // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – Вип. 11. – Т. 1 (65). – С. 133–141.

187. Гевко Б.М. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гвинтових робочих органів машин харчової і переробної промисловості / Б.М. Гевко, Н.Є. Вивюрка // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль : ТДТУ, 2000. –Т. 5, № 1. – С. 30–35.

188. 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. – Киев, 1965. – 17 с.

189. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з продуктами сільськогосподарського виробництва: дис... доктора техн. наук: 05.20.01/05.05.05 / Рогатинський Роман Михайлович. – К. : НАУ, 1997. – 425 с.

190. Рогатинський Р.М. Силова взаємодія коренебульбоплодів із робочими органами шнекових очисників / Р.М. Рогатинський // Вісник Національного аграрного університету. – К. : НАУ, 1997. – Т. 1. – С. 98–103.

191. Рогатинський Р.М. Моделювання процесів взаємодії шнекових робочих органів із коренебульбоплодами / Р.М. Рогатинський // Вісник Національного аграрного університету. – К. : НАУ, 1997. – Т. 1. – С. 103–108.

192. Улучшить качество очистки корнеплодов / П.В. Савич, Н.М. Зуев, В.Р. Ярошовец [и др.] // Сахарная свекла. – К. №8, 1980. – С. 23-25.

193. Барановський В.М. Наукові основи універсального використання коренезбиральних машин / В.М. Барановський // Мат. восьмої наук. конф. проф.-викл. складу ТДТУ ім. І. Пулюя, 11-12 травня 2004 р. : тези доп. – Тернопіль : ТДТУ, 2004. – С. 133.

194. 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.

195. 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.

196. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин : навч. посіб. / Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк. – К.: НОК ВО, 1992. – 320 с.

197. . Булгаков В.М. Диференційні рівняння руху гнучкої очисної лопаті по поверхні головки коренеплоду / В. М. Булгаков, І.В. Головач, Д.Г. Войтюк // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Міжвідомчий тематичний наук. зб. – Глеваха, 2002. – Вип. 86. –С. 160–165.

198. Мартиненко В.Я. Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичко збиральних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / В.Я. Мартиненко. – Тернопіль, 2000. – 33 с.

199. Айзерман М.А. Классическая механика / М.А. Айзерман. – М. : "Наука", 1974. – 367 с.

200. Хайлис Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин / Г.А. Хайлис. – К. : УСХА, 1992. – 240 с.
201. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М. : Наука, 1981. – 706 с.
202. Крижачковский Н. Адаптация средств механизации в земледелии / Н. Крижачковский, И. Шевченко, В. Дворников // Техніка АПК. – 2000. – № 8. – С. 8–9.
203. Гречкосій В.Д. Використання с.-г. техніки у фермерських господарствах / В.Д. Гречкосій // Техніка АПК. – 2000. – № 1. – С. 37–38.
204. Машиновикористання в землеробстві / [Ільченко В.І., Нагірний Ю.П., Джолос П.А. та ін.]. – К. : Урожай, 1996. – 216 с.
205. Гаркавий А.Д. Як перейти на виробництво конкурентно спроможної продукції на селі / А.Д. Гаркавий // Вісник Інженерної академії України. – 1998. – С. 97–99.
206. Барановський В.М. Машини для збирання цукрових буряків : монографія в 2-х томах / Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Лісостепу України / [ред. кол. : Мельничук Д.О. (відп. ред.), Кириленко І.Г., Рижук С.М., Мельник С.І. ; відп. за вип. : Ібатуллін І.І., Городній М.М.]. – КМУ, наук.-досл. ін-ти НАУ. – К. : Вид. ТОВ “Алефа”, 2003. – Т. 1. – 886 с. – С. 800–804.
207. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. [та ін.] ; під ред. Д.Г. Войтюка. – К. : Наукова думка, 2004. – 558 с.
208. Барановський В.М. Транспортно-технологічні системи викопувальних робочих органів адаптованої коренезбиральної машини / В.М. Барановський // Загальнодержавн. міжвід. наук.-техн. зб. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КНТУ, 2012. – Вип. 42. – Ч. II. – С. 79–86.
209. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. [та ін.] ; під ред. Д.Г. Войтюка. – К. : Вища освіта, 2005. – 464 с.
210. Пат. № 19526 Україна. МПК А01D 25/04. Пристрій для викопування коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський М.І., Паньків М.Р., Герасимчук

Г.А.; заявник і власник Тернопільський націон. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u200607381 ; заявл. 03.07.2006 ; опубл. 15.12.2006. Бюл. № 12.

211. Пат. № 44747 Україна. МПК A01D 25/04. Пристрій для викопування коренеплодів / Паньків М.Р., Герасимчук Г.А. Барановський В.М., Рамш В.Ю.; заявник і власник Тернопільський державн. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u200905065 ; заявл. 22.05.2009 ; опубл. 12.10.2009. Бюл. № 19.

212. Пат. № 62598 Україна. МПК A01D 25/04. Пристрій для викопування коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський М.І., Паньків М.Р., Герасимчук Г.А.; заявник і власник Тернопільський націон. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u201014901 ; заявл. 10.12.2010 ; опубл. 12.09.2011. Бюл. № 17.

213. А.с. № 1523085 СССР, МКИ А 01Д 33/08. Устройство для отделения примесей от корнеплодов / Гурченко А.П., Барановський В.Н., Булгаков В.М.; заявитель Украинский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – 4386472/30 - 15; заявл. 29.02.88; опубл. 23.11.89. Бюл. № 43.

214. А.с. № 1547752 СССР, МКИ А 01Д 33/08. Устройство для отделения примесей от корнеплодов / Гурченко А.П., Барановський В.Н., Завгородний А.Ф., Булгаков В.М.; заявитель Украинский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – 4369084/15; заявл. 25.01.88; опубл. 07.03.90. Бюл. № 9.

215. А.с. № 1806528 СССР, МКИ А 01Д 33/08. Устройство для отделения примесей от корнеплодов / Гурченко А.П., Барановський В.Н., Булгаков В.М., Гурченко Л.А.; заявитель Украинский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – 4907206/15; заявл. 01.02.91; опубл. 07.04.93. Бюл. № 13.

216. Пат. № 64373 Україна. МПК A01D 33/08. Пристрій для відокремлення домішок від коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський М.І., Паньків М.Р., Дубчак Н.А., Паньків В.Р.; заявник і власник Тернопільський націон. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u201103197 ; заявл. 18.03.2011 ; опубл. 10.11.2011. Бюл. № 21.

217. Пат. № 64631 Україна. МПК A01D 33/08. Пристрій для відокремлення домішок від коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський

М.І., Паньків М.Р., Дубчак Н.А.; заявник і власник Тернопільський націон. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u201105278 ; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 10.11.2011. Бюл. № 21.

218. Пат. № 66680 Україна. МПК A01D 25/04. Комбінований копач коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський М.І., Герасимчук Г.А., Паньків В.Р.; заявник і власник Тернопільський націон. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u201108202 ; заявл. 30.06.2010 ; опубл. 10.01.2012. Бюл. № 1.

219. Пат. № 76009 Україна. МПК A01D 25/04. Комбінований копач коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський М.І., Герасимчук Г.А., Паньків М.Р., Паньків В.Р.; заявник і власник Тернопільський націон. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u201105533 ; заявл. 07.05.2012 ; опубл. 25.12.2012. Бюл. № 24.

220. Пат. № 77568 Україна. МПК A01D 25/04. Комбінований копач коренеплодів / Кравченко І.Є., Барановський В.М., Підгурський М.І., Паньків М.Р., Труханська О.О.; заявник і власник Вінницький націон. аграрн. ун-т. – № u201207310 ; заявл. 15.06.2012 ; опубл. 25.02.2013. Бюл. № 4.

221. Пат. № 64372 Україна. МПК A01D 33/08. Очисник вороху коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський М.І., Паньків М.Р., Дубчак Н.А., Паньків В.Р.; заявник і власник Тернопільський націон. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u201103196 ; заявл. 18.03.2011 ; опубл. 10.11.2011. Бюл. № 21.

222. Пат. № 65050 Україна. МПК A01D 33/08. Пристрій для відокремлення домішок від коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський М.І., Труханська О.О., Паньків М.Р.; заявник і власник Тернопільський націон. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u201105238 ; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 25.11.2011. Бюл. № 22.

223. Пат. № 74625 Україна. МПК A01D 33/08. Пристрій для відокремлення домішок від коренеплодів / Кравченко І.Є., Труханська О.О., Барановський В.М., Підгурський М.І., Паньків М.Р.; заявник і власник Вінницький націон. аграрн. ун-т. – № u201103159 ; заявл. 19.03.2012 ; опубл. 12.11.2012. Бюл. № 21.

224. Пат. № 77981 Україна. МПК A01D 33/08. Пристрій для відокремлення домішок від коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський М.І., Труханська О.О., Паньків М.Р.; заявник і власник Вінницький націон.

аграрн. ун-т. – № u201207308 ; заявл. 15.06.2012 ; опубл. 11.03.2013. Бюл. № 5.

225. Пат. № 80478 Україна. МПК A01D 33/08. Пристрій для відокремлення домішок від коренеплодів / Труханська О.О., Барановський В.М., Кравченко І.Є., Паньків М.Р., Дубчак Н.А.; заявник і власник Вінницький націон. аграрн. ун-т. – № u201300245 ; заявл. 08.01.2013 ; опубл. 27.05.2013. Бюл. № 10.

226. Барановський В.М. Адаптована коренезбиральна машина / В.М. Барановський // XVI наук. конф. «Матеріалознавство та машинобудування» Тернопільського нац. техн. у-ту ім. І. Пулюя, 5-6 грудня 2012 р. : тези доп. – Тернопіль : ТНТУ, 2012. – Т. II. – С. 5.

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

228. КД 46.16.01.005 – 93 “Випробування сільськогосподарської техніки. Основні положення”. К. – 34 с.

229. ДСТУ 2258-93. Машина бурякозбиральні. Загальні технічні умови. – К. : Держстандарт України, 1993. – 18 с.

230. Чаки Ф. Современная теория управления / Ф. Чаки. – М. : «Мир», 1985. – 324 с.

231. Валюх. О.А. Элементы теории автоматического управления. Линейные системы непрерывной дѣи : навч. посѣбник / О.А. Валюх, В.М. Максимѣв. – Львѣв : Афѣша, 2002. – 123 с.

232. Герасимчук Г.А. Критерѣи оцѣнки технологѣчної ефективностѣи процесу викопування коренеплодѣв / Г.А. Герасимчук, В.М. Барановський // Вѣсник Львѣвського націон. аграрн. ун-ту: агроїнженерні дослідження. – Львѣв : ЛНАУ, 2009. – № 14. – С. 163–168.

233. Барановський В.М. Результати теоретично-експериментальних досліджень секундної подачі вороху коренеплодѣв / В.М. Барановський // Вѣсник ХНТУСГ “Механѣзація сѣльськогосподарського виробництва”. – Х. : ХНТУСГ, 2008. – Вип. 75. – Т. 1. – С. 111–120.

234. Барановський В.М. Оптимѣзаційні математичні моделѣи процесу викопування вороху коренеплодѣв пасивним сферичним диском / В.М.

Барановський, В.Ю. Рамш // Вісник Львівського націон. аграрн. у-ту: агроінженерні дослідження : зб. наук. праць за матеріалами ІХ міжн. наук.-практ. конф. 17-18 жовтня 2008 р. – Львів : ЛНАУ, 2008. – № 12 (2). – С. 337–349.

235. Барановський В.М. Математична модель технологічного процесу викопування коренеплодів / В.М. Барановський // Вісник ТДТУ. – Тернопіль : ТДТУ, 2007. – Т. 12. – № 3. – С. 59–69.

236. Барановський В.М. Експериментальні дослідження секундних подач викопування вороху коренеплодів одностороннім сферичним копачем / В.М. Барановський, Г.А. Герасимчук // Мат. конф. наук.-педаг. прац. і асп. навч.-наук. техн. ін-ту НУБіПУ, березень 2009 р. : тези доп. – К. : ННТІ НУБіПУ, 2009. – С. 3–4.

237. Движение тел по роликам / В.А.Гоголин, М.Т. Кобылянский, В.Ф. Горбунов [и др.] // Вестник КузГТУ. –2006. – № 3.

238. Механізми з гвинтовими пристроями / [Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін.] – Львів: Світ, 1992. – 380 с.

239. Григорьев. А.М. Винтовые конвейеры. / А.М. Григорьев. – М. : Машиностроение. – 1981. – 635 с.

240. Труханська О.О. Дослідження кута відбивання коренеплодів від поверхні витка шнека / О.О. Труханська, В.М. Барановський, І.Є. Кравченко // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2011. – № 10. – Т. 2 (59). – С. 89–95.

241. Труханська О.О. Математична модель процесу контактної взаємодії коренеплодів з витком шнека комбінованої очисної системи / О.О. Труханська, В.М. Барановський // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – Вип. 11. – Т. 2 (66). – С. 280–285.

242. Барановський В.М. Визначення коефіцієнта динамічної взаємодії коренеплодів / В.М. Барановський, Н.А. Дубчак, М.Р. Паньків // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ, 2007. – Вип. 15. – С. 14–22.

243. 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.

244. 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.

245. Василенко П.М. Основы научных исследований / П.М. Василенко, Л.В. Погорелый // – К. : Вища школа, 1985. – 266 с.

246. Барановський В.М. Результати експериментальних досліджень коефіцієнта технологічної ефективності АВТОКРО / В.М. Барановський // Технічний прогрес у с.-г. виробництві : XVII міжн. наук.-техн. конф. та IV всеукр. конф.-семінар аспір., доктор. і здобув. у галузі інжен. агровир. систем, 30 вересня-1 жовтня 2009 р. : тези доп. – Глеваха, ННЦ «ІМЕСГ», 2009. – С. 27.

247. Барановський В.М. Обґрунтування коефіцієнта динамічного ефекту роботи адатованого викопуючого робочого органу / В.М. Барановський // Вісник ТДТУ. – Тернопіль : ТДТУ, 2009. – Т. 14. – № 1. – С. 72–76.

248. Барановський В.М. Результати порівняльних досліджень очисної системи вороху коренеплодів / В.М. Барановський, Н.А. Дубчак, М.Р. Паньків // Сучасні проблеми землеробської механіки : XIII міжн. наук. конф., 17-19 жовтня 2012 р. : тези доп. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – С. 31–32.

249. Герасимчук Г. Дослідження секундних подач домішок коренеплодів комбінованим однодисковим копачем / Галина Герасимчук, Віктор. Барановський, Іван Кравченко // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2010. – № 5. – С. 37–43.

250. Барановський В.М. Результати експериментальних досліджень викопування кормових буряків / В.М. Барановський, Г.А. Герасимчук // Наук. вісник НАУ. – К. : НАУ, 2008. – Вип. 130. – С. 365–370.

251. Герасимчук Г.А. Результати польових випробувань комбінованого однодискового копача / Г.А. Герасимчук, В.М. Барановський // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ, 2010. – Вип. 29. – С. 48–53.

252. Барановський В.М. Експериментальні дослідження секундних подач викопування вороху коренеплодів одностороннім сферичним копачем / В.М. Барановський, Г.А. Герасимчук // Мат. конф. наук.-педаг. прац. і асп. навч.-

наук. техн. ін-ту НУБіПУ, березень 2009 р. : тези доп. – К. : ННТІ НУБіПУ, 2009. – С. 3–4.

253. Барановський В.М. Результати експериментальних досліджень очисної системи вороху коренеплодів/ В.М. Барановський, М.Р. Паньків, Н.А. Дубчак // Вісник ТДТУ. – Тернопіль : ТДТУ, 2008. – Т. 13. – № 1. – С. 93–99.

254. Гуков Я.С. Моделювання маси налиплого ґрунту на поверхні просторового тіла / Я.С. Гуков, В.М. Барановський // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ, 2007. – Вип. 16. – С. 52–62.

255. Барановський В.М. Математична модель маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів / В.М. Барановський // Наук. вісник НАУ. – К. : НАУ, 2006. – Вип. 95. – С. 203–211.

256. Барановський В.М. Математична модель маси налиплого ґрунту на коренеплодах / В.М. Барановський // Мат першої наук.-техн. конф. ф-ту перероб. і харч. виробн. Тернопільського нац. техн. ун-ту ім. І. Пулюя, 19 травня 2011 р. : тези доп. – Тернопіль : ТНТУ, 2011. – С. 33.

257. Прогнозування кількості ґрунту на поверхні тіла коренеплоду / Віктор Барановський, Дмитро Войтюк, Сергій Кропивко [та ін.] // MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture: зб. наук. праць за матеріалами IV міжн. наук.-техн. конф. MOTROL 2003, 21-23 травня 2003 р. / Komisija motoryzacji i energetyki rolnictwa PAN, Komisija naukowo-problemowa motoryzacji PAN [та ін.]. – Люблін-Київ : НАУ, 2003. – Т. 6. – С. 164–172.

258. Барановский В.Н. Исследование массы налипшей почвы на корнеплодах / В.Н. Барановский, В.В. Теслюк, В.Б. Онищенко // Современные проблемы использования мелиорированных земель и повышения их плодородия : сб. научн. трудов за материалами межд. научн.-практ. конф., 27-28 июня 2013 г. / ГНУ ВНИИМЗ Россельхозакадемии. – Тверь : ТвГУ, 2013. – С. 59–66.

259. Барановський В.М. Товщина шару налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду / В.М. Барановський // Мат. наук. конф. мех.-техн. ф-ту «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві і транспорті» Тернопільського нац. техн. у-ту ім. І. Пулюя, 16 травня 2011 р. : тези доп. – Тернопіль : ТНТУ, 2011. – С. 74–75.

260. Барановський В.М. Дослідження товщини шару налиплого ґрунту на поверхні тіл коренеплодів / В.М. Барановський // Вісник ТДТУ. – Тернопіль : ТДТУ, 2005. – Т. 10. – № 4. – С. 63–68.

261. Барановський В.М. Експериментальні дослідження маси та товщини шару налиплого ґрунту на коренеплодах / В.М. Барановський, М.Р. Паньків // Наук. вісник НУБіПУ. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К. : НУБіПУ, 2010. – Вип. 144. – Част. 2. – С. 351–356.

262. Барановський В. Аналіз технологічного процесу видалення залишків гички комбінованим викопуючим органом / Віктор Барановський, Микола Підгурський, Галина Герасимчук // Вісник ТНТУ. – Тернопіль : ТНТУ, 2010. – Т. 15. – № 4. – С. 55–62.

263. 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.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ	5
1.1. Аналіз конструктивно-технологічних аспектів функціонування коренезбиральних машин	5
1.2. Основні конструктивно-технологічні ознаки транспортно- технологічних систем коренезбиральних машин	31
1.2.1. Аналіз конструкцій викопувальних робочих органів	31
1.2.2. Огляд конструктивно-технологічних схем і робочих органів очисників вороху коренеплодів	41
1.3. Мета та завдання дослідження.....	54
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ АДАПТОВАНИХ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН	56
2.1. Наукова концепція, принципи розробки та застосування адаптованих коренезбиральних машин	56
2.2. Розробка принципової конструктивно-технологічної схеми адаптованої коренезбиральної машини	92
2.3. Попередні висновки до розділу	105
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ АДАПТОВАНОЇ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ	107
3.1. Математична модель інтенсифікації технологічного процесу відокремлення домішок від коренеплодів	107
3.2. Математична модель технологічної ефективності роботи адаптованого викопувального транспортно-очисного комбінованого робочого органу	129
3.3. Оптимізація параметрів і режимів процесу переміщення вороху коренеплодів адаптованим транспортно-очисним комбінованим робочим органом	148
3.4. Попередні висновки до розділу	161

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АДАПТОВАНОЇ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ	164
4.1. Програма, об'єкт, предмет і методика проведення експериментальних досліджень	164
4.2. Результати проведення експериментальних досліджень адаптованого викопувального транспортно-очисного комбінованого робочого органу	181
4.3. Результати проведення експериментальних досліджень адаптованого транспортно-очисного комбінованого робочого органу	199
4.4. Результати порівняльних досліджень показників якості роботи адаптованої і базової коренезбиральних машин	206
4.5. Попередні висновки до розділу	211
РОЗДІЛ 5. МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНОГО РОЗРАХУНКУ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТОВАНИХ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН	213
5.1. Методика розрахунку раціональних параметрів і режимів роботи адаптованих коренезбиральних машин	213
5.2. Розрахунок економічної ефективності застосування адаптованих коренезбиральних машин	259
5.3. Попередні висновки до розділу.....	269
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	272
ДОДАТКИ	275
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	324

Наукове видання

**В. М. БАРАНОВСЬКИЙ, М. І. ПІДГУРСЬКИЙ, М. Р. ПАНЬКІВ,
В. В. ТЕСЛЮК, В. В. ОНИЩЕНКО**

**ОСНОВИ РОЗРОБКИ АДАПТОВАНИХ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ
КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН**

МОНОГРАФІЯ

Комп'ютерне верстання *Р. Л. Федущин*

Формат 60x90/16. Обл. вид. арк. 22,8. Тираж 300 пр. Зам. № 2298.

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.