

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА

освітнього ступеня «Магістр»

на тему: „ **ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ТА
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУЧНОГО
СТРУШУВАЧА ПЛОДІВ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ** ”

Виконав: студент групи Аін-51
Спеціальності 208 „Агроінженерія”
(шифр і назва)

Друль Віталій Романович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Крупич О.М.
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 631.358.

Обґрунтування конструктивної схеми та дослідження параметрів ручного струшувача плодів з електроприводом. Друль В. Р. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім.проф. Семковича О.Д. Дубляни, Львівський НУП, 2024.

64 с.; табл. 6; рис. 30; бібл. найм. 29.

У дипломній роботі проаналізовано існуючі способи збирання плодів у садах. Описано існуючі засоби ручного і мало механізованого збирання плодів та обґрунтовано доцільність розробки струшувача плодів із електричним приводом.

В роботі теоретично обґрунтовано конструктивно-технологічну схему струшувача. Теоретично досліджено кінематику процесу коливань захвату запропонованого струшувача із електричним приводом.

Розглянуто питання охорони праці та захисту довкілля під час використання запропонованого струшувача плодів.

Розраховано економічний ефект від впровадження запропонованого ручного струшувача плодів із електричним приводом.

Зміст

Вступ	
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СТАНУ МЕХАНІЗАЦІЇ ЗНІМАННЯ ПЛОДІВ З ДЕРЕВ	9
1.1 Аналіз засобів ручного збирання плодів	10
1.2 Ручні механізовані струшувачі	15
Висновки	19
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ РУЧНОГО ВІБРАЦІЙНОГО СТРУШУВАЧА	20
2.1 Обґрунтування оптимальної конструктивно-технологічної схеми струшувача	20
2.2 Висновки	31
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ СТРУШУВАЧА З ПЛОДОВОЮ ГІЛКОЮ	32
3.1 Теоретичні засади проектування ручного струшувача	32
3.2. Дослідження кінематики процесу коливань захвату струшувача	32
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ.....	48
4.1 Моделювання процесів виникнення травм, аварій і катастроф.....	48
4.2 Вплив технології на стан довкілля.....	53
Висновки.....	54
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РУЧНОГО СТРУШУВАЧА ПЛОДІВ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	62

ВСТУП

Актуальність теми. На теперішній час в структурі витрат механізованого виробництва продукції садівництва важливе місце займає техніка (амортизаційні відрахування, вартість палива, запасних частин, заробітна плата і т.д.). Ці витрати складають до 60...70% від всіх затрат. Отже для садівництва ресурсозберігаюча стратегія використання машин та обладнання являється основою для забезпечення конкурентоздатності даної галузі [2].

Стратегія комплексної механізації виробництва сільськогосподарської продукції передбачає розробку нових технологій та техніки, в якій особливе місце надається створенню енерго- та ресурсозберігаючих технологій та технічних засобів [2].

Сучасний стан садівництва характеризується суттєвим перерозподілом плодових насаджень, тобто площа та кількість присадибних ділянок (садів), що є власністю селянських та фермерських господарств; площі середніх та великих господарств, що займаються садівництвом

Розробкою основ механізованого збирання плодів та засобів механізації займалися багато вчених. Як результат було створено плодозбиральні машини та комбайни різних типів. Однак на теперішній час збирання врожаю плодів із дерев (затрати праці близько 40...50%) повсюдно виконується вручну. Використання розроблених та запропонованих на ринку машин у селянських та фермерських господарствах утруднено або зовсім неможливо через ряд причин: технологічна недоцільність або неможливість їх використання в невеликих садах; висока вартість та великі енергозатрати на одиницю продукції.

Враховуючи сучасні тенденції, пов'язані з проблемами енерго-ресурсозбереження, виникає потреба розробити більш універсальні, прості та надійні в експлуатації, економні плодозбиральні установки, які повинні бути привабливими для господарника через їх високу ефективність за не великих затратах на придбання та обслуговування. А також завдяки невеликим

габаритам, багатофункціональністю, можливість використання у різних умовах експлуатації, високою ефективністю та малими енергозатратами та металомісткістю, розроблена установка може мати особливе значення у використанні на гірській важкодоступній місцевості.

В зв'язку з цим пошук та дослідження енергозберігаючої установки для струшування плодів із дерев в дрібних фермерських господарствах є актуально задачею.

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є розробка ефективної конструктивно-технологічної схеми і визначення параметрів ручного струшувача плодів з електроприводом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі досліджень:**

- провести аналіз існуючих засобів для збирання плодів;
- теоретично дослідити процес взаємодії струшувача з плодовою гілкою;
- вивчення фізико-механічних властивостей плодів;
- обґрунтувати конструктивну схему та параметри ручного струшувача:
- визначити економічну ефективність запропонованого струшувача плодів.

Об'єкт досліджень: плодіві дерева різних культур (зерняткові, кісточкові); різні варіанти установок для струшування плодів; ручний струшувач.

Предмет досліджень: залежності якісних показників процесу знімання плодів з дерев від конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи ручного струшувача.

Методи досліджень: для вирішенні поставлених задач досліджень використовувалися методи теоретичної механіки, опору матеріалів, математичного аналізу та моделювання. Дослідження фізико-механічних властивостей плодів проводилося в лабораторних умовах з використання методів математичної статистики та регресійного аналізу з обробкою даних на ПК.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СТАНУ МЕХАНІЗАЦІЇ ЗНІМАННЯ ПЛОДІВ З ДЕРЕВ

Останнім часом у світовому плодовництві широке поширення отримали зімкнуті плодові «стіни», в яких дерева формуються не поодинокими, округлими, а з прямокутними кронами, «злитими» в одну смугу. Вирощування таких «стін» чи «живої огорожі» стало промисловим методом в плодовництві. Сади у вигляді нешироких вертикальних стін найбільш придатні до механізованого вирощування. Ці сади умовно відносять до групи насаджень з малогабаритними деревами [19, 20, 21].

Значна частка у виробництві плодів на теперішній час займають сади, як належать фермерським та селянським господарствам, а також безсистемним насадженням (в лісах, вздовж доріг, старих не доглянутих садів та ін.).

До числа факторів, що стримують розвиток і становлення фермерства можна віднести відсутність спеціальної техніки, а також високу вартість сучасної техніки та обладнання. Більша частина техніки із існуючої системи машин для комплексної механізації сільськогосподарського виробництва орієнтована на великі господарства з індустріальними технологіями вирощування. Використання такої техніки в малих та середніх господарствах є економічно недоцільне або технологічно неможливе.

Таким чином, приймаючи до уваги тенденції сучасного садівництва, необхідно провести аналіз існуючих способів та засобів збирання плодів із дерев з точки зору їх застосування в різних насадженнях, що характеризуються не тільки формою крони дерев, але і їх розмірами, розташуванням та умовами росту.

Враховуючи вище вказане, проведемо аналіз засобів малої механізації для знімання плодів з дерев за ручного способу збирання врожаю, які можливо використовувати в фермерських господарствах.

1.1 Аналіз засобів ручного збирання плодів

До засобів малої механізації для ручного збирання плодів відноситься ручний інвентар (драбини, садові столи та підставки, відра, корзини, плодови сумки, тачки і т.д.), плодознімачі, ручні механізовані струшувачі плодових гілок.

Засоби малої механізації забезпечують збереження плодів під час збирання і дозволяють зібрати всі плоди з дерева.

Для збору врожаю застосовують спеціальні драбини, садові столи та підставки [23,24].

На рисунку 1.1а показано садову універсальну драбину із спеціального жорсткого дюралюмінієвого прокату. Назви та маркування такого типу драбин різне. Відповідно висота та вага відрізняються. Наприклад драбина висотою 2,5м має масу 11...14 кг, а висотою 4 м – 15...21 кг. Такі драбини мають трьоточкову опору, та за формою нагадують ракету [17,18].

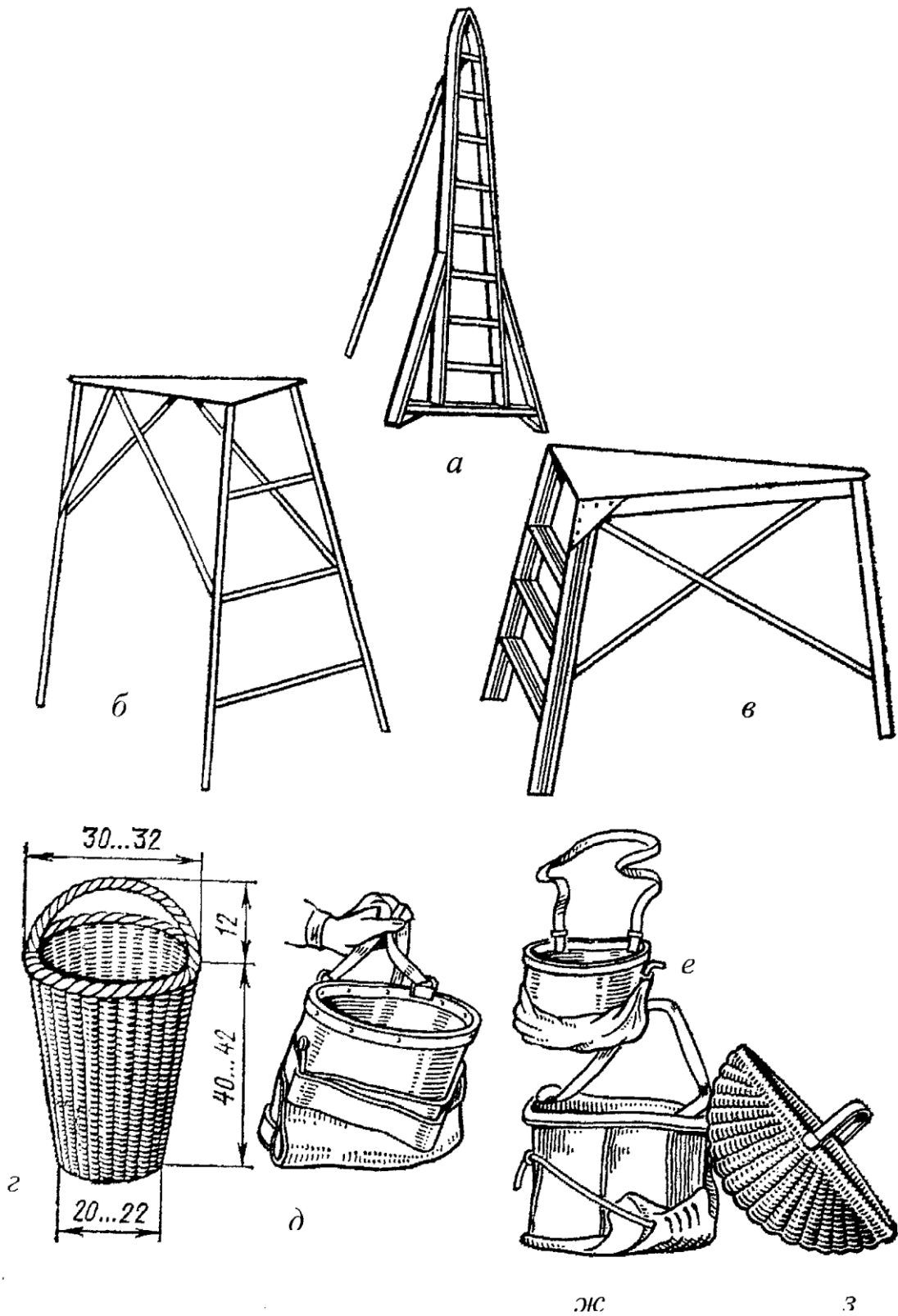
На рисунку 1.1 б, в показані варіанти садового стола та підставки.

Каркаси садового стола та підставки виконані із прокату дюралімінію, а поверхня дерев'яна. Робоча висота стола може бути різною: 1,2...2,5 м, маса до 20 кг, маса підставки до 15 кг.

На рисунку 1.1 г, з показані кошики, сплетені із вербових гілок, на рисунку 1.1 д, е, ж – плодозбірні сумки місткістю до 12 кг плодів, а на рисунку 1.1 е – плодозбірна сумка місткістю до 8 кг фруктів [16].

Кошики виготовляють із різних матеріалів (вербові гілки, фанерний шпон, відходів бамбука і т.п.) різноманітної форми та місткості (від 8 до 20кг).

В багатьох господарствах під час збирання плодів використовують пластикові відра місткістю 6...12 кг, а також металеві, обтягнуті всередині мішковиною. Для зручності знімання плодів відра підвішують на гачку на гілці дерева, а обома руками збирають.



a – садова універсальна драбина; *б* – садовий стіл; *в* – садова підставка; *z*, *3* – плодозбірні кошики; *д*, *ж* – плодозбірні сумки місткістю 12 кг; *e* – плодозбірна сумка місткістю 8 кг

Рисунок 1.1 – Садовий інвентар

Також існують спеціально розроблені пристосування для ручного збирання плодів. Наприклад зображене на рисунку 1.2 плодозбиральне відро [15].

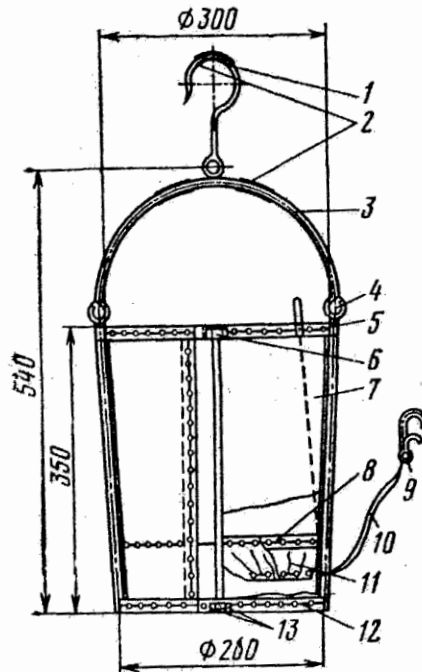
Відро (рисунок 1.2) складається із корпусу 7 конічної форми, самовідкриваючого днища, металевого каркасу 5, дуги 3 з гачком 1, покритих в місцях контакту з деревом гумовими трубками 2, стягуючого шнура 10 із стопорним гачком 9. З металевим каркасом дуга з'єднується шарнірно спеціальним заокругленням 4 кінця дуги.

Корпус виготовлений із матерії, що володіє достатньою міцністю та еластичністю, погано втягує вологу. Самовідкриваюче днище виконане у вигляді короткого рукава із міцного, м'якого і вологостійкого матеріалу. Верхньою частиною рукав прикріплений до корпусу 7 на відстані 90 мм від нижньої кромки. В нижній частині рукава виконані отвори для стягуючого шнура. Каркас 5 складається із двох кілець – верхнього 6 і нижнього 13, на які натягнутий корпус 7 відра. Між собою кільця з'єднані чотирма відрізками дроту 12, що надає каркасу необхідну жорсткість. У двох відрізків виконані кільця для приєднання дуги. Шнур з гачком стягує дно та не дає йому самовільно відкритися. При цьому в робочому положенні стопорний гачок 9 кріпиться за верхнє кільце відра. Від'єднавши гачок 9 від кільця плоди під дією сили тяжіння розтягнуть рукав і плавно висипляться в тару.

Для збирання плодів використовують сумки (місткістю від 8 до 16...18кг) з дном, що відщипається. Сумки від усіх інших видів тари відрізняються тим, що їх можна надіти на себе, вивільнивши при цьому обидві руки для збору плодів, та розвантажити без пошкодження плодів, відкривши днище і плавно висипавши плоди в тару.

Особливі вимоги висуваються до збирання дрібних кісточкових культур (вишня, черешня), які можна зберігати дуже обмежений час, і вони погано переносять транспортування. Спосіб їх збирання залежить від мети – на споживання у свіжому вигляді чи на технічну переробку. В першому випадку плоди потрібно знімати з плодоніжками, а в другому, навпаки, – без

плодоніжок, що ускладнює операцію відриву плодоніжки на плодопереробному підприємстві.



1 – гачок; 2 – гумова трубка; 3 – дуга; 4 – заокруглення дуги; 5 – металевий каркас; 6 – верхнє кільце; 7 – корпус; 8, 11 – шви; 9 – стопорний гачок; 10 – шнур; 12 – відрізки дроту; 13 – нижнє кільце
Рисунок 1.2 – Плодозбиральне відро

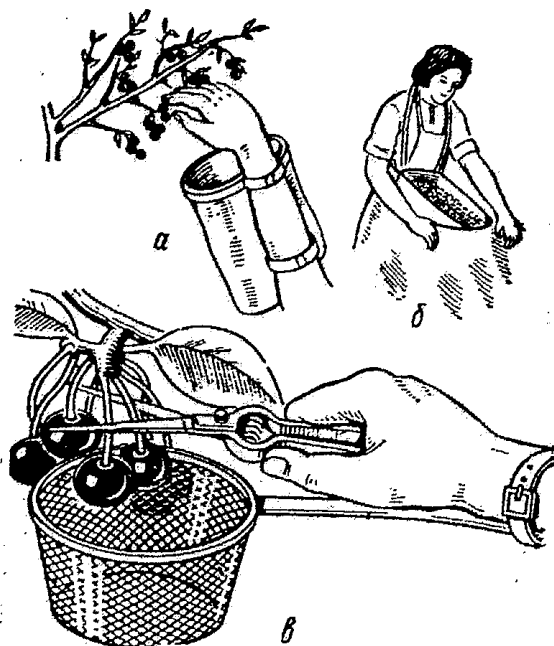


Рисунок 1.3 – Збирання дрібних кісточкових культур «методом доїння» (а,б) та стрижки (в)

Під час збирання вишні та черешні для технічної переробки застосовують «метод доїння». В такому випадку збирач бере за ягоди та тягне їх вниз («доїть»). Враховуючи, що у плодів вишні та черешні в стадії знімної зрілості зв'язок плодоніжки з плодом значно менший його зв'язку з гілкою, то майже всі плоди за такого способу збирання відриваються без плодоніжки. Продуктивність праці при збиранні «методом доїння» значно вище в порівнянні з методом стрижки, тому що в такому способі збирач може використовувати обидві руки для знімання плодів, застосовуючи в якості тари елементарні пристосування, надіті на шию (рисунок 1.3б) або закріплені на руці (рисунок 1.3а). Під час збирання «методом доїння» можна використовувати різноманітні ківші з обчисувальною гребінкою [16].

Плоди з плодоніжками доцільно знімати методом стрижки, використовуючи як і звичайні ножиці та ножі, так і спеціальні пристосування, основна ідея яких частіше всього зводиться до знімання за допомогою однієї руки.

На рисунку 1.3в показано одне із таких пристосувань, виконане у вигляді решітчастої ємності з ручкою, яку прищипують до руки ремінцем; в цю ж руку беруть ножиці з довгими лезами і зручними для роботи ручками, підносячи ємність під плоди, їх зрізають.

За кордоном також використовують аналогічні засоби малої механізації під час ручного способу знімання плодів. Певну цікавість викликають плодознімачі, які зменшують пошкодження плодів. Їх конструкції дуже різноманітні. Принцип їх роботи також відрізняється: механічне відривання, зріз плодоніжки, затискання плода пневматичним способом і т.д. [27, 28].

Один із плодознімачів пневматичної дії показаний на рисунку 1.4. Він складається із дюралюмінієвої труби 4, на одному кінці якої закріплений куполоподібна ємність 2, а на другому – гумова груша 5, яка з'єднана спеціальною трубкою 3 з порожниною двостінного еластичного мішечка-захвату 1. Під час зняття плода мішечок надягають знизу на висячий плід і

рукою стискають гумову грушу. Порожнина гумового мішечка заповнюється повітрям, і внутрішня оболонка його м'яко, але щільно облягає плід. Потім, повертаючи чи піднімаючи пристосування, плід відривають. Розтиснувши грушу, плід витягують із ємкості і кладуть у тару.

Під час ручного збирання плодів значна частина часу збирачів, що знімають плоди із верхньої частини крони дерева, затрачається на спуск вниз, розвантаження заповненої тари і черговий підйом на драбину, стіл.

В зв'язку з цим в деяких країнах ведуться роботи по створенні плодоспусків, які дозволять збирачам, що знаходяться зверху, не спускати вниз [18].

Запропонований спосіб збирання плодів за допомогою драбини з плодоспуском (рисунок 1.5). Один із стояків драбини виконаний у вигляді труби 1 із склопластику. Труба має на кількох рівнях горизонтальні відростки для приєднання гумових рукавів приймачів 2, які підвішуються на гачках до перекладин драбини. Отвір 4 в нижній частині труби призначений для вивантаження плодів безпосередньо в ящик чи контейнер. В середині труби отвору 4 вмонтований амортизатор 5 для безударної зміни напрямку руху плодів, а сам отвір закритий гумовим фартухом 3, що зменшує швидкість плодів на виході. Амортизатор складається із декількох шарів м'якої гуми з прокладкою із губчатої гуми.

Також для спуску плодів, що збираються з верхньої частини дерев, використовують прийомні ковші з рукавом, в середині якого встановлені пружні гумові пальці, які гасять швидкість падіння плодів, а також спеціальні каскадно-лоткові складні пристосування. Однак вони достатньо складні для експлуатації.

1.2 Ручні механізовані струшувачі

Першими пристроями для механізованого знімання плодів з дерев за рахунок коливання гілок були ручні вібратори з пневматичним і механічним

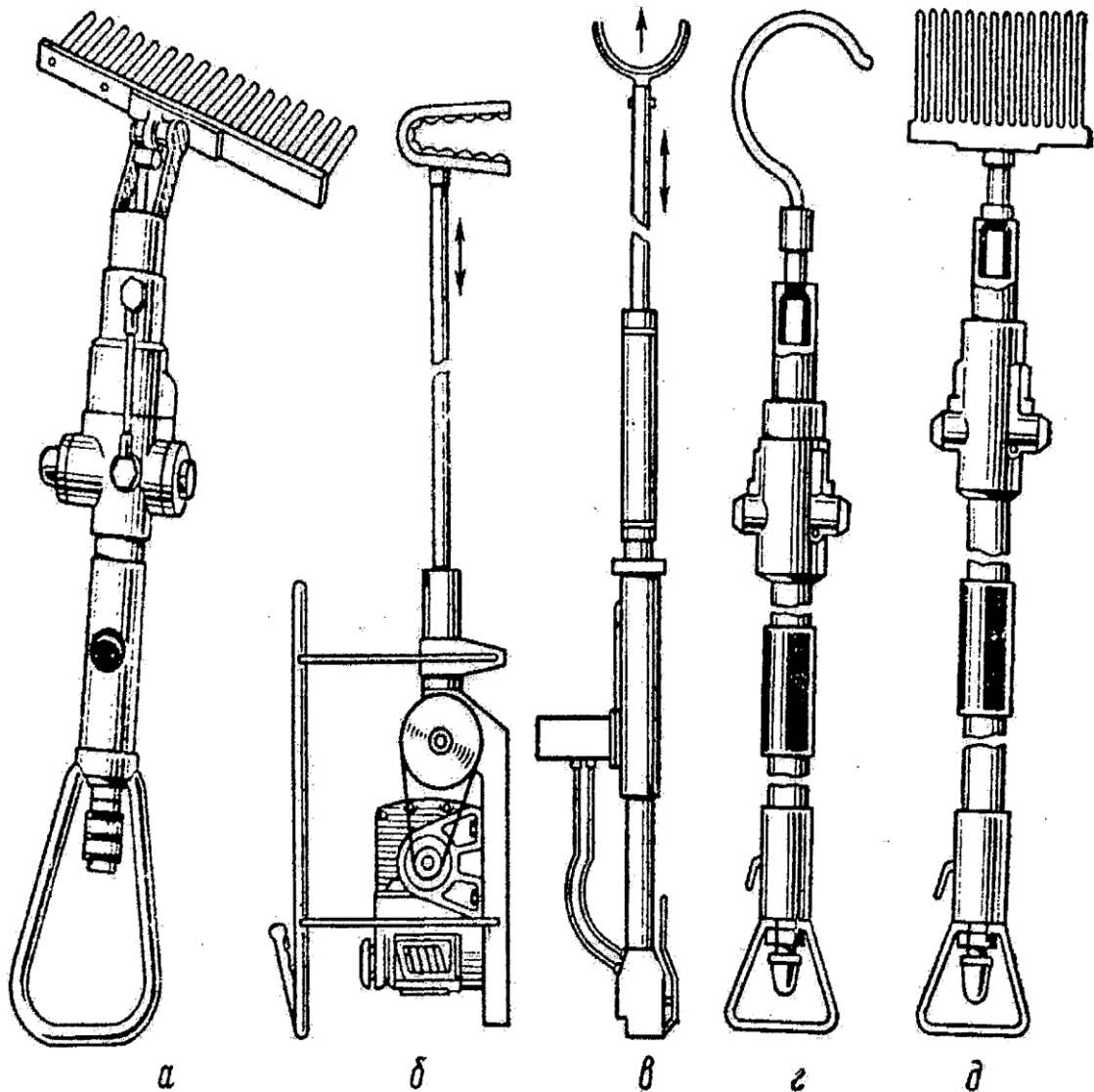
приводом робочого органу. Вони входили в агрегат, що складався із енергоустановки (компресор, акумулятор, двигун внутрішнього згорання), інструментів для коливання та обрізання гілок, а також із простих вловлювачів, як в подальшому мали більш складну конструкцію для вловлювання плодів із дерев.

Розвиток ручних вібраційних пристроїв йшов по шляху створення вмонтованих на штанзі (ручці) легких, зручних в роботі пристроїв, що забезпечують високу повноту знімання плодів без пошкодження кори гілок в місці контакту робочого органу з гілкою та гілками вищих порядків.

Пневматичні вібраційні струшувачі італійського виробництва компанії Стормас з гачковим та гребінчастим робочим органом (рисунок 1.6 з, д) був випробуваний під час збирання врожаю черешні та слив. Повнота знімання плодів сягала 98,4%, при цьому на вловлювач попадало 94% плодів черешні та 70...81% плодів сливи. В процесі випробувань були відмічені значні пошкодження кори гілок в місці контакту з робочим органом і швидка втома оператора через порівняно високу масу вібраторів, що утримуються в руках (маса гачкового вібратора складала 3,6 кг, гребінчастого – 3,9 кг). Тому подібні пристрої не були рекомендовані для застосування в наших умовах [4,7,12].

Внаслідок розвитку техніки і технологій збирання плодів замість вловлюючих пристроїв, що переносилися вручну почали використовувати спеціальні самохідні вловлюючі секції із ручними вібраційними струшувачами.

Так, в Італії була створена самохідна сливозбиральна машина, що складається із двої незалежних секцій, і обладнана ручними вібраційними струшувачами для знімання плодів з дерев. Кожна секція машини приводиться в дію двигунами внутрішнього згорання «Lambardini» потужністю 8,8 кВт. Довжина кожної секції 6,6 м, ширина 1,9 м, висота 1,2 м, маса 820...920 кг. Ця машина може бути обладнана трьома типами ручних вібраційних струшувачів компаній Stormas (Італія) [4,7,12].



a, б – вібраційні струшувачі із захватом у вигляді гребінки, що розташована перпендикулярно до осі штанги (*a*) або вздовж осі (*б*); *б* – вібраційний струшувач з захватом у вигляді вилки; *в* – вібраційний струшувач з захватом у вигляді напів циліндричного прогумованого ударника; *г* – вібраційний струшувача з захватом в вигляді гачка.

Рисунок 1.6 – Схеми ручних вібраційних струшувачів

Вібраційний струшувач компанії Stormas (рисунок 1.6 *a, г, д*) виконаний з пневматичним приводом від окремого компресора. Захват може бути виготовлений у вигляді гребінки, розташованої перпендикулярно до осі штанги (рисунок 1.6 *a*) або вздовж осі штанги (рисунок 1.6 *д*), або у вигляді

гачка (рисунок 1.6 з). Частота коливань штока 20 Гц, хід штока у гачкового вібратора 30 мм, хід гребінки – 30 мм. Вібратор працює при тиску 1200 кПа (12...13 кгс/см²)

Вібраційний струшувач компанії Houmlait (рисунок 1.6 б) приводиться в дію від двигуна внутрішнього згорання потужністю 3,68кВт (5 к.с.). Вібратор робітник переносить вручну або за допомогою наплічного ремня, хід штока 50 мм, частота коливань штока 25 Гц.

Вібраційний струшувач компанії Plammer із гідравлічним приводом (рисунок 1.6 в) споживає потужність до 1,47 кВт (2 к.с.). Його маса складає 7 кг. Шток вібратора з упорним пристроєм для гілок може коливатися з частотою 17 Гц, хід штока 50 мм [18].

Ручні струшувачі плодів, що застосовуються за кордоном виконані на основі трьох приводів: механічного, гідравлічного та пневматичного. Два останні типи, як правило, потребують використання в якості джерела енергії трактор, обладнаний компресором або гідравлічною установкою.

Ручний струшувач плодів із двигуном внутрішнього згорання і вібраційним механізмом струшувача виробляється італійською компанією «Cifarelli» SC 800 (рисунок 1.7). Струшувач призначення для збирання оливок і оснащений двигуном потужністю 2,1кВт (2,8 к.с.), об'ємом 52 см³. Довжина штанги 2 м. Вага становить 15 кг [17].



Рисунок 1.7 – Ручний струшувач плодів оливок компанії «Cifarelli»

Основний недоліком такого струшувача є його вага і відповідно незручна експлуатація, внаслідок швидкої втоми працівника.

Найлегший струшувач компанії Houmlait важить близько 13 кг, що є достатньо багато для ручного способу знімання плодів і викликає незручності під час його експлуатації.

Необхідно розробити вібраційний струшувач із портативним струшувачем, що задовільнить потреби поставлені до ручних інструментів (вага струшувача повинна не перевищувати 3...4 кг).

Висновки

1. Для збирання плодів використовують три способи: ручний – з використанням засобів малої механізації; напівмеханізований – з використанням різних мобільних платформ; механізований – з використанням вібраційних плодозбиральних машин та комбайнів.

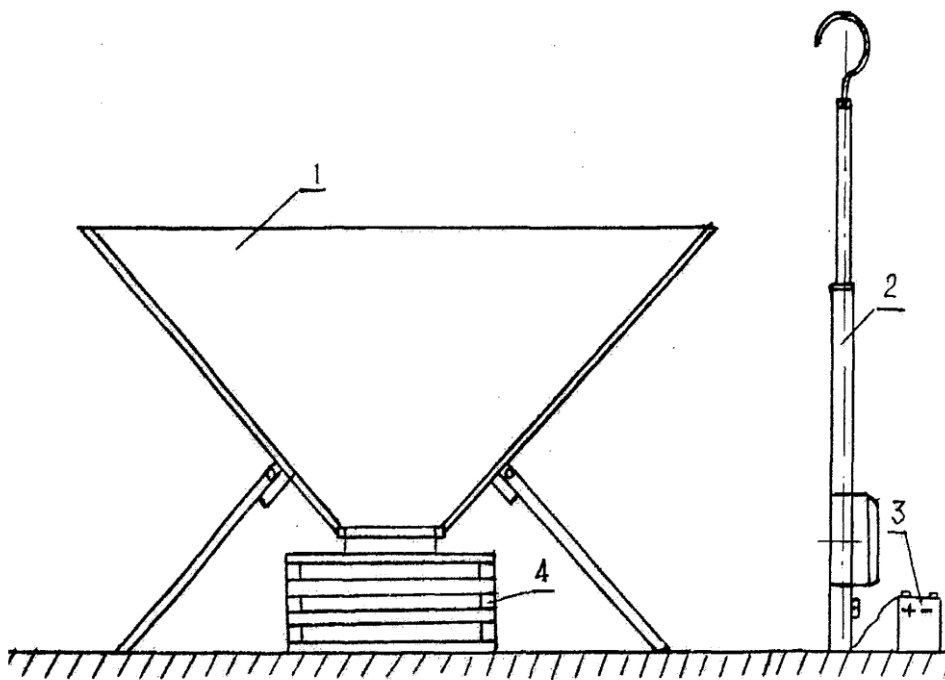
2. На теперішній час найбільш прийнятним (технічно та економічно) способом збирання плодів в малих фермерських господарствах і садових ділянках, а також в гірських районах є ручний з використанням різних засобів малої механізації.

3. Найбільш ефективним та перспективним засобом малої механізації може бути портативна установка, що складається із механізованого струшувача гілок та вловлювача плодів, робочий процес яких не прив'язаний до використання тракторів та інших енергоємних агрегатів.

РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ РУЧНОГО ВІБРАЦІЙНОГО СТРУШУВАЧА

2.1 Обґрунтування оптимальної конструктивно-технологічної схеми струшувача

Враховуючи, що струшувач запропоновано як ручний портативний пристрій з електричним приводом, його проектування необхідно здійснювати відповідно вимогам до ручних електричних машин.



1 – вловлювач; 2 – струшувач; 3 – акумулятор; 4 – тара для плодів.

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд запропонованої плодозбиральної установки

Сучасне виробництво ставить до ручних машин широке коло вимог, як в основному зводяться до наступних [7,10-12]:

- забезпечення найкращих споживацьких якостей ручних машин, в тому числі й безпеки;
- забезпечення придатності цих машин для масового виробництва.

Щоб відповідати сучасним вимогам до споживчих якостей, ручні машини, перш за все, повинні мати мінімально можливі габарити і масу. Від цих показників в значній мірі залежить втомлюваність оператора, зручність підходу до місця виконання операції, особливо у випадках, коли це місце важкодоступне, та продуктивність машини.

Компонування машини, форма і розташування руків'я, вимикачів, а також збалансованість машини повинні бути такими, щоб забезпечувалася максимальна зручність для роботи. При цьому зовнішні форми і оздоблення машини повинні відповідати сучасним вимогам естетичного вигляду.

Ручні машини повинні забезпечувати максимальну продуктивність за високої якості виконання операцій і високих питомих енергетичних показниках; також мати достатню високу надійність і довговічність роботи; мати порівняно не високу початкову вартість, а також вартість експлуатації та ремонту [10-12].

Достатньо важливими є вимоги пов'язані з безпекою експлуатації. До них перш за все відносяться:

- виключення можливості нанесення оператору механічних травм;
- електробезпека;
- універсальність, маневреність і властивість задовільнити різним умовам експлуатації.

Стосовно вимог поставлених до ручних машин з точки зору придатності їх до масового виробництва, то тут в першу чергу необхідно забезпечити високу технологічність конструкцій цих машин, застосування для їх виготовлення високоякісних, але не дефіцитних матеріалів, а основне забезпечити високий рівень повузлової уніфікації, що дозволить не тільки знизити собівартість і трудомісткість виготовлення машин, але і значно покращить техніко-експлуатаційні якості виробів [12].

Струшування гілок може бути забезпечене, як мінімум, одним із трьох видів траєкторій руху захвата вібратора, а саме:

- прямолінійної зворотно-поступальної;
- маятникової зворотно-поступальної;
- плоско-паралельної еліптичної.

Кінематичні схеми найбільш простих механізмів [28], що забезпечують вказані види траєкторій для захвату, зображені відповідно з рисунком 2.2.

Експериментально встановлено, що найбільш ефективною траєкторією захвату є плоско паралельна еліптична. Із відібраних кінематичних схем, у відповідності до рисунка 3.8, таку траєкторію забезпечують механізми 3.8 *δ* і 3.8 *ε*. Більш глибокий аналіз цих механізмів з точки зору простоти конструкції дав можливість вибрати варіант, що зображений на рисунку 3.8 *ε*.

На основі апріорних досліджень було вибрано декілька варіантів конструкцій струшувача плодів, що здатні задовільнити вимоги, які ставляться до них.

Нижче наведені пристрої, їх переваги та недоліки конструкції.

На рисунку 2.3 *а* представлено загальний вид першого варіанту струшувача, на рисунку 2.3 *б* зображено механізм перетворення обертового руху в зворотно-поступальне коливання, на рисунку 2.3 *в* – кінематична схема конструкції.

Струшувач складається із корпусу 1 з механізмом перетворення обертового руху в коливний, захвату 3 і штанги 4. Штанга 4 жорстко закріплена на електродвигуні 2 за допомогою фланця 5. Таким же чином до електродвигуна кріпиться корпус 1. В корпусі 1 з можливістю обертання встановлений вал 6, зв'язаний з валом електродвигуна 2.

Вал 6 містить кривошип 7, на якому розміщений кульовий шарнір 8 з можливістю обертання. На осі 9, жорстко закріпленої на корпусі 1, з можливістю кочення встановлений маятник 10. Нижній кінець маятника 10

мітить циліндричний отвір з прорізом. На верхньому кінці маятника 10 встановлений захват3.

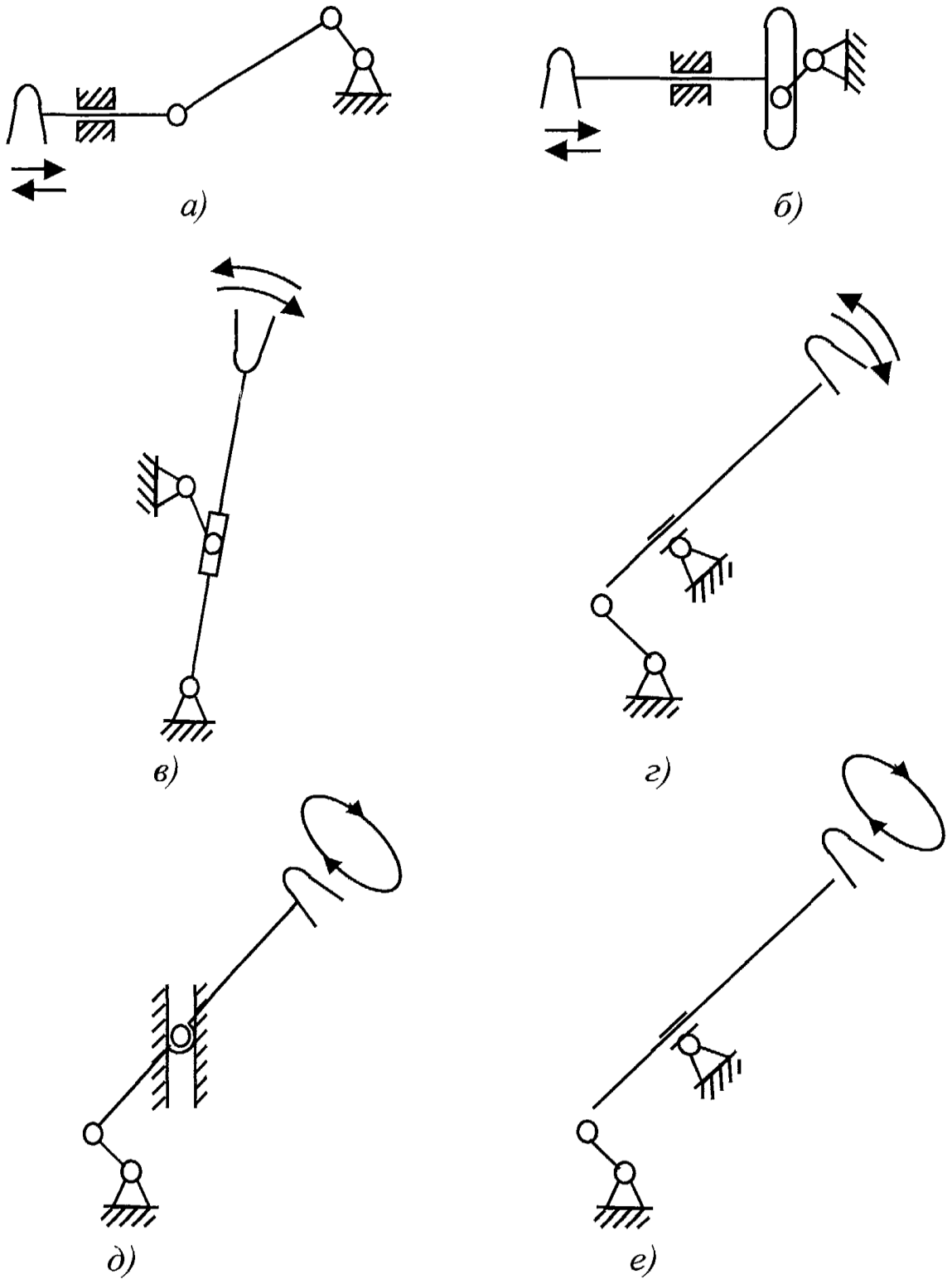
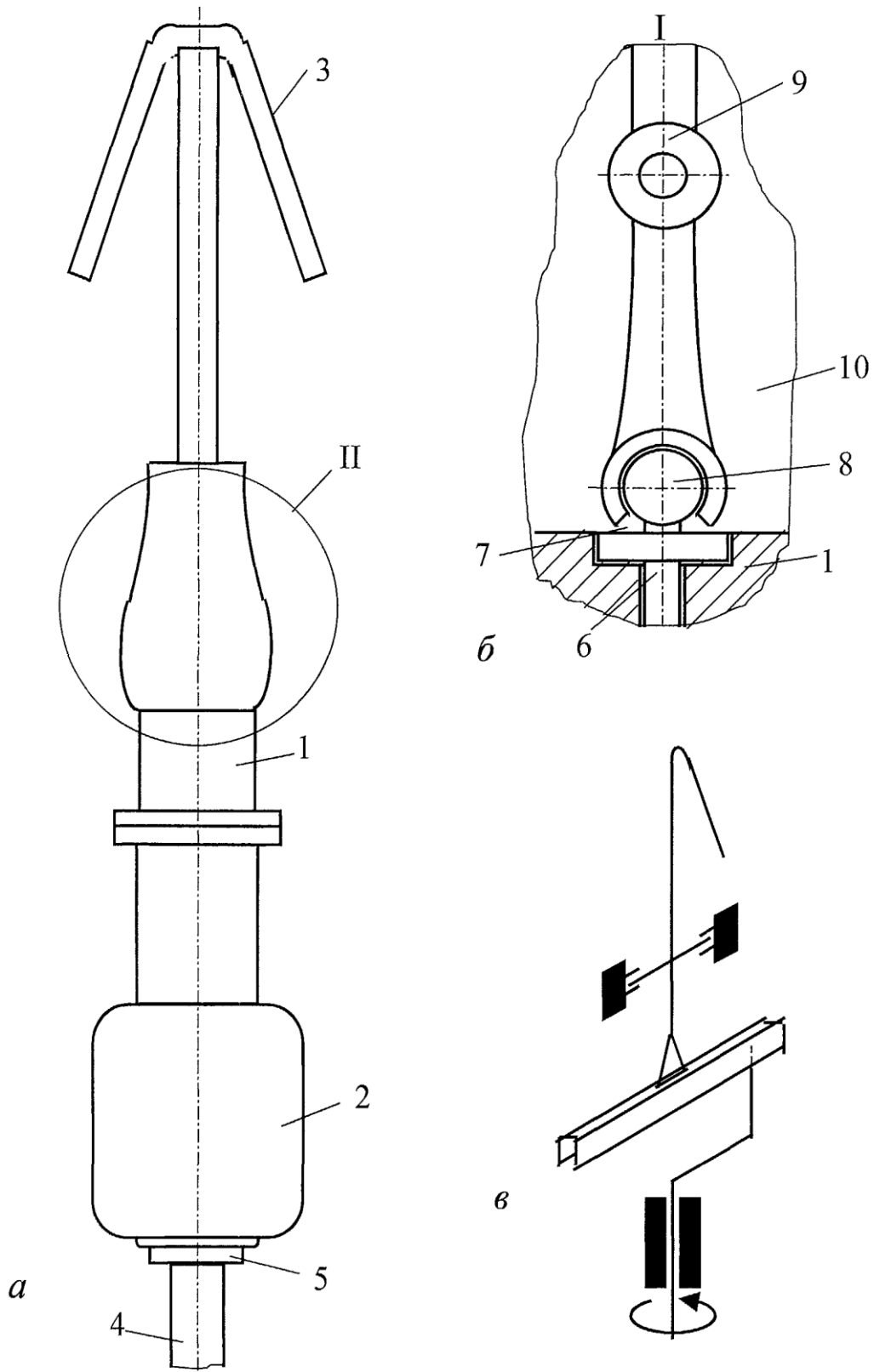


Рисунок 2.2 – Кінематичні схеми механізмів перетворення обертового руху



a – загальний вигляд; *б* – механізм перетворення; *в* – кінематична схема; 1 – корпус; 2 – електродвигун; 3 – захват; 4 – штанга; 5 – фланець; 6 – вал; 7 – кривошип; 8 шарнір кульовий; 9 – вісь; 10 – маятник

Рисунок 2.3 – Струшувач (варіант 1)

Електродвигун 2 через проміжний вал (на рисунку не показаний) приводить в обертання вал 6 і кривошип 7, який змушує маятник 10 здійснювати зворотно-поступальні коливні рухи

Переваги. В конструкції струшувача використано серійний виріб – механізм перетворення обертового руху в коливний.

Недоліки: складна конструкція, велика маса, незручність в експлуатації, оскільки центр ваги значно зміщений вгору від оператора, що створює момент сили, який сприймається оператором.

На рисунках 2.4 а і 2.4 б показані загальний вигляд з переду і з боку другого варіанту струшувача, на рисунку 2.4 в – виносний елемент I, 2.4 г – кінематична схема механізму струшувача.

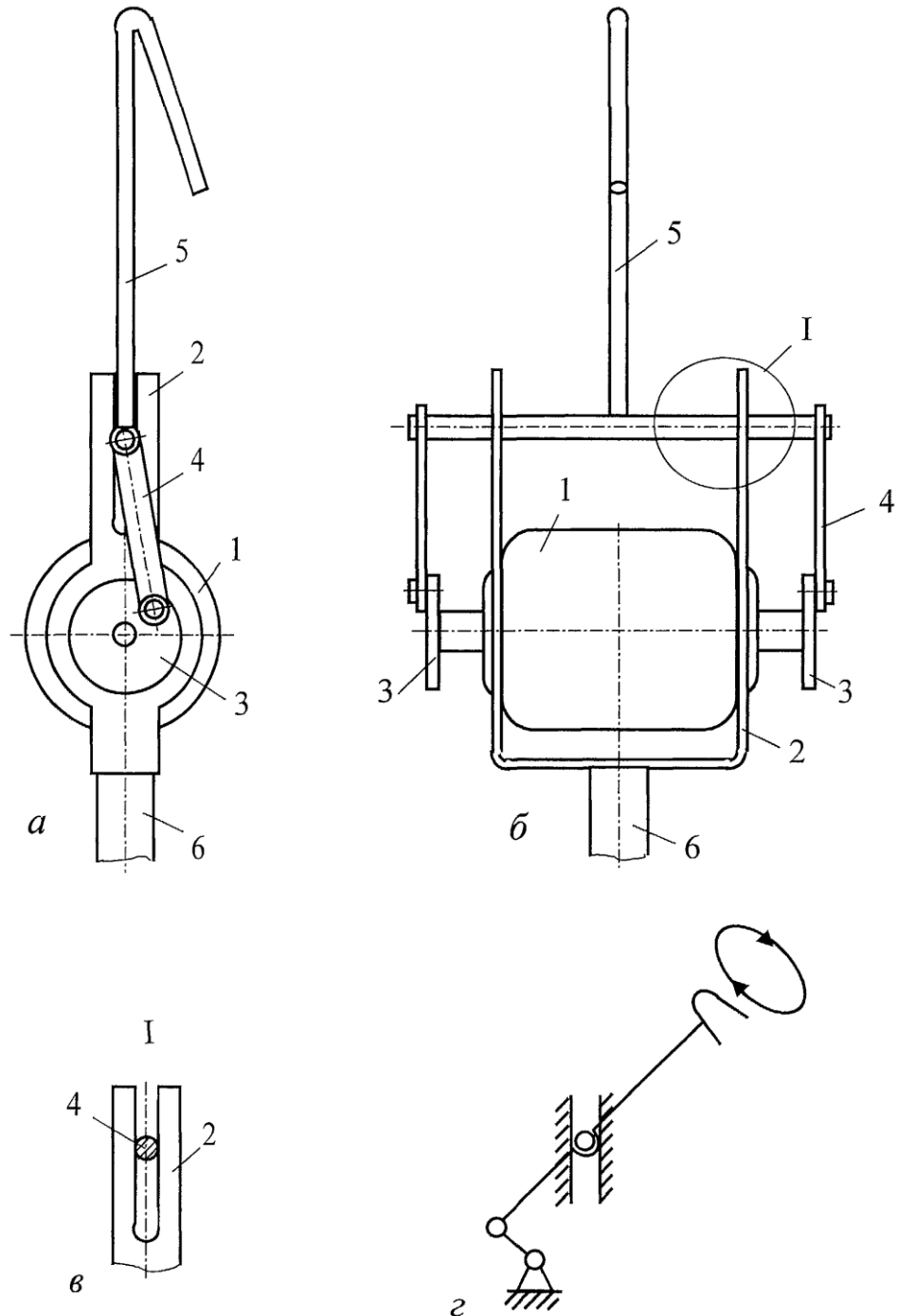
Струшувач складається з електродвигуна 1, кронштейна 2, кривошипів 3, шатуна 4, захвату 5 і штанги 6. Кронштейн 2 нерухомо змонтований на електродвигуні 1 і оснащений вертикальними пазами, що виконують функцію направляючих. На валу електродвигуна встановлені кривошипи 3. Вільні кінці П-подібного шатуна 4 шарнірно зв'язані з кривошипами 3 таким чином, що осі шарнірів розташовані на одній прямій лінії. Поперечний елемент шатуна має круглий переріз і розташований в пазах кронштейна 2. На цьому ж елементі нерухомо встановлений захват 5. Штанга 6 жорстко зв'язана з кронштейном 2.

Двигун 1 приводить в обертовий рух кривошипи 3, які в свою чергу примушують поперечний елемент шатуна здійснювати зворотно-поступальні рухи в пазах кронштейна 2. При цьому, верхній кінець здійснює рух по еліптичній траєкторії.

Переваги: захват струшувача здійснює рухи по найбільш раціональній траєкторії з точки зору інтенсивності відриву плодів; Пристрій нескладний по конструкції; відносно невелика маса.

Недоліки: в процесі роботи листки та гілки попадають в пази кронштейна, що призводить до порушення нормальної роботи механізму (повна ізоляція даного вузла пов'язана із ускладненням конструкції); низька

технологічність виготовлення і збирання пристрою через високі вимоги до взаємного розташування елементів конструкції; незручна експлуатація, так як центр ваги значно зміщений вгору від оператора, що створює момент сили, який змушений сприймати оператор.



a – вигляд збоку; *б* – вигляд спереду; *в* – вузол I; *г* – кінематична схема механізму; 1 – електродвигун; 2 – кронштейн; 3 – кривошип; 4 – шатун; 5 – захват; 6 – штанга

Рисунок 2.4 – Струшувач (варіант 2)

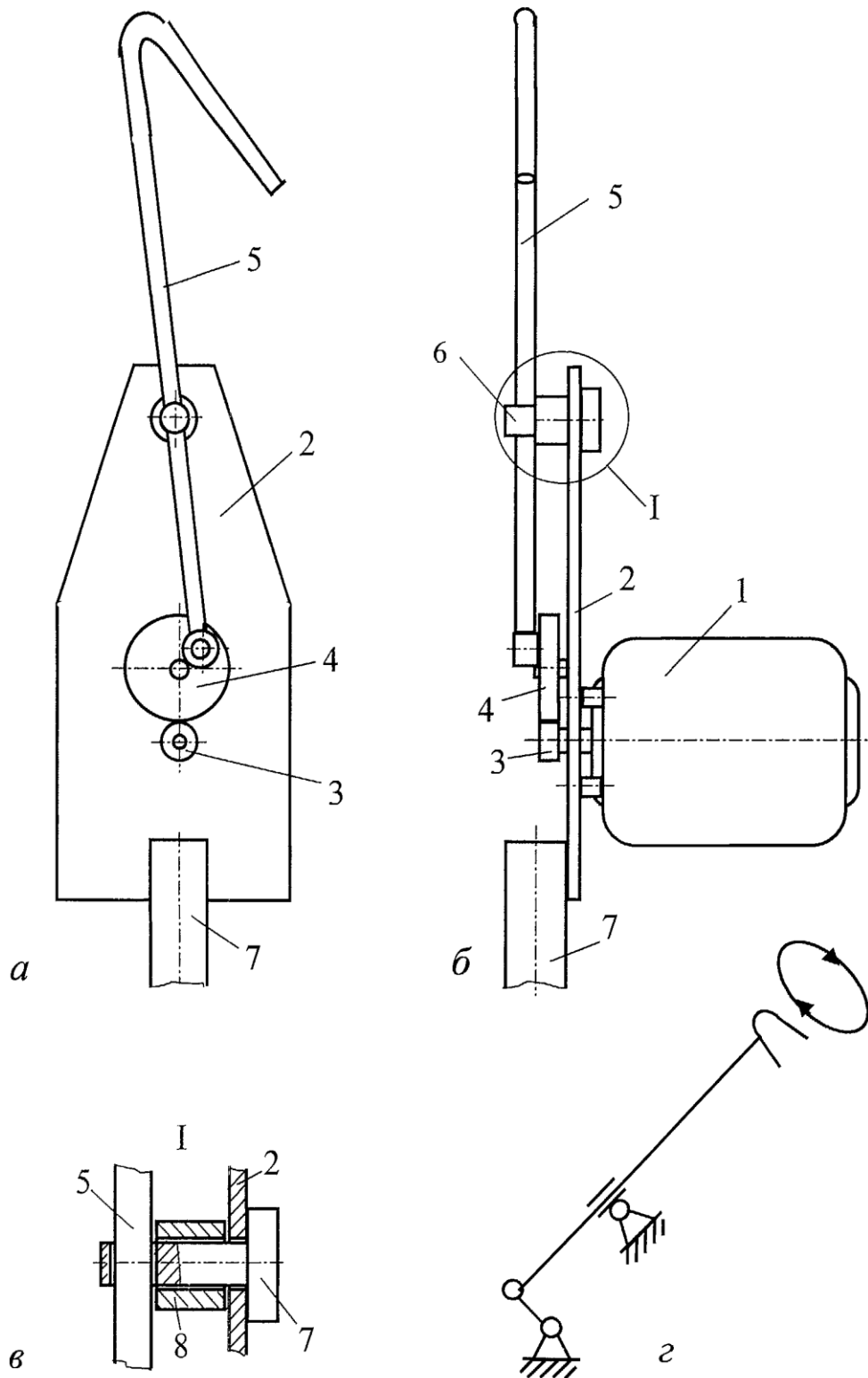
На рисунках 2.5 *a* і 2.5 *б* зображено загальний вигляд спереду і збоку третього варіанту струшувача, на рисунку 2.5 *в* – виносний елемент I, на рисунку 2.5 *г* – кінематична схема механізму струшувача.

Струшувач складається із електродвигуна 1, кронштейна 2, ведучої 3 і веденої 4 шестерень, захвату 5, шарніра 6 і штанги 7. Кронштейн 2 виконаний у вигляді металевої пластини і нерухомо встановлений на електродвигуні 1. На валу електродвигуна встановлена ведуча шестерня 3. Шестерня 3 утворює пару з веденою шестернею 4, вісь якої встановлена на кронштейні. Шестерня 4 виконує функцію кривошипа. З шестернею 4, як з кривошипом, своїм нижнім кінцем шарнірно сполучений захват 5. Захват 5 своєю середньою частиною зв'язаний з шарніром 6, що змонтований на кронштейні 2. Шарнір виконаний у вигляді осі 7 з отвором, в якому розташований захват 5, і втулки 8, що займає простір між кронштейном та захватом.

В процесі роботи захват 5 здійснює зворотно-поступові рухи відносно шарніра 6 і одночасно гойдається навколо нього. В результаті цього робоча частина захвату здійснює рух по еліптичній траєкторії.

Переваги: захват струшувача здійснює рух по найбільш раціональній формі траєкторії з точки зору інтенсивності опадання плодів; проста конструкція; відносно невелика маса.

Недоліки: в процесі роботи листки та гілочки попадають між зуби шестерень. Повна ізоляція шестерень веде до ускладнення конструкції та збільшенню маси; центр ваги не співпадає з віссю штанги, що створює шкідливі для технологічного процесу коливання, які виникають поза площиною основних коливань; незручність в експлуатації, так як центр ваги значно зміщений в бік від оператора, що створює момент сил, які сприймаються оператором.



a – вигляд спереду; *б* – вигляд збоку; *в* – виносний елемент I; *г* – кінематична схема механізму; 1 – електродвигун; 2 – кронштейн; 3 – шестерня ведуча; 4 – шестерня ведена; 5 – захват; 6 – шарнір; 7 – штанга; 8 – втулка

Рисунок 2.5 – Струшувач (варіант 3)

На рисунку 2.6 *а* зображено загальний вигляд четвертого варіанту струшувача, на рисунку 2.6 *б* – вібратор, на рисунку 2.6 *в* – кінематична схема конструкції.

На корпусі 1 нерухомо змонтовано електродвигун 2 і штанга 3. На валу електродвигуна 2 встановлено кривошип (на рисунку не показано), з яким шарнірно зв'язаний шатун 4. На осі 5, жорстко закріпленої на корпусі 1 з можливістю кочення, встановлено коромисло 6. Один кінець коромисла шарнірно зв'язаний з шатуном 4, а другий кінець, також шарнірно зв'язаний з нижнім кінцем троса 7. На штанзі 3 встановлений вібратор 8 із захватом 9 і руків'я 10. Руків'я 11 закріплено на електродвигуні 3. Вібратор 8 складається із циліндра 12 і, розміщеного в ньому поршня 13, пружини 14 та кришки 15. Циліндр 12 нерухомо встановлений на штанзі 3. Поршень 13 спарений з внутрішньою поверхнею циліндра 12 і під пружинений відносно циліндра за допомогою пружини 14. Верхній кінець троса 7 закріплений до нижньої частини поршня 13. Кришка 15 за допомогою різьбового з'єднання встановлена у верхній частині циліндра. Захват 9 закріплений до поршня 13 і розташований в отворі, виконаному в кришці 15.

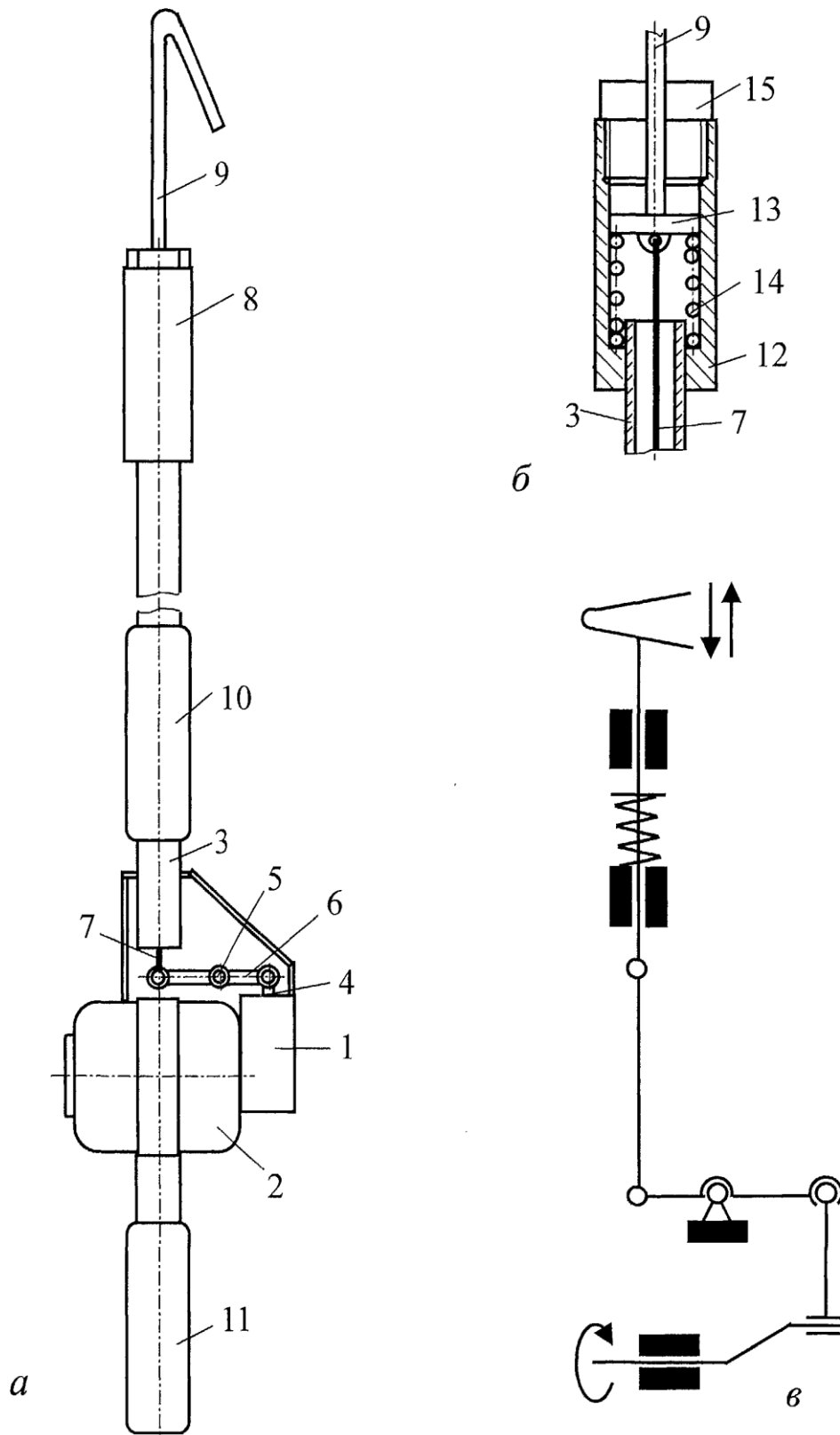
Електродвигун 2 приводить в обертання кривошип, який через шатун 4 передає зворотно-поступові рухи коромислу 6. За допомогою троса 7 ці рухи передаються до поршня 13 і захвату 9.

Переваги: центр ваги струшувача зміщений ближче до оператора, що створює більш зручні умови експлуатації і дозволяє застосувати потужніший електропривід.

Недолік: дещо складніша конструкція порівняно з попередніми варіантами.

Останній варіант струшувача плодів виявився найбільш близьким до висунутих до нього вимог, відповідає вимогам безпеки, експлуатації і виконанні технологічного процесу.

Аналіз переваг та недоліків описаних варіантів конструкцій струшувача дає підстави для наступних висновків:



a – загальний вигляд; *б* – вібратор; *в* – кінематична схема;
 1 – корпус; 2 – електродвигун; 3 – штанга; 4 – шатун; 5 – вісь; 6 – коромисло;
 7 – трос; 8 – вібратор; 9 – захват; 10, 11 – руків'я; 12 – циліндр; 13 – поршень;
 14 – пружина; 15 – кришка

Рисунок 2.6 – Струшувач (варіант 4)

Перший варіант струшувача має єдину перевагу, можливість використання серійного виробу, що в даному випадку несуттєво. Другий та третій варіанти мають перевагою, що захват здійснює рухи по найбільш задовільній траєкторії. З огляду на те, що центр мас у перших трьох варіантів віддалений від оператора, йому доводиться приймати великі зусилля, що створює незручність експлуатації.

В четвертому варіанті цей недолік усунуто і він прийнятий для подальших досліджень і вдосконалення.

Висновки

В результаті пошукових досліджень проаналізовано різні варіанти кінематичних схем конструкцій ручних вібраційних струшувачів та обгрунтовано його раціональну конструктивну технологічну схему.

РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ СТРУШУВАЧА З ПЛОДОВОЮ ГІЛКОЮ

3.1 Теоретичні засади проектування ручного струшувача

Теоретичними дослідженнями відриву плода при вібраційному збиранні займалися Г.П. Варламов, Б.І. Турбін, Р.Р. Ягубян, В.Д. Бартенев, С.І. Філімонів, А.М. Долгошеєв, Н.Г. Різаханов, К.М. Тугуз, РМ. Мамедов, О.М. Абу-Гхейд, Д.Кук, Р. Ранд. П. Пархомчук, Л. Стаффорд, Р. Дінер, Ж. Стефанеллі, Е. Джікомеллі, С. Юнг, Р. Фрідлі, В. Міллер, Ж. Морроу та багато інших [4,7,12,14,26,27].

У їхніх роботах при обґрунтуванні параметрів струшувачів як усього дерева (за штамп), так і плодових гілок застосовані основи теорії пружних коливань систем без урахування зміни їх мас, які для плодових гілок різних культур суттєві (1,6-3,2 рази) [4,7,12,14,26,27].

У зв'язку з цим є актуальною задача застосування теорії перемінної маси до процесу взаємодії струшувача з плодовою гілкою при її пружних коливаннях.

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання:

- дослідити кінематику процесу коливань захоплення струшувача;
- дослідити коливання плодової гілки з масою, що змінюється.

3.2 Дослідження кінематики процесу коливань захвату струшувача

Експериментально встановлено, що найефективнішою траєкторією захвату є плоско-паралельна еліптична. З відібраних кінематичних схем таку траєкторію забезпечують механізми, відповідно до рисунків 2.2 *д* та 2.2 *е*. При глибшому аналізі цих механізмів з точки зору простоти конструкції вибраний варіант, зображений відповідно до малюнком 2.2 *е*.

Суть дослідження полягає у визначенні рівнянь та графіків шляху, швидкості та прискорення захвату струшувача як функцій від часу.

Для визначення координати у кінця захоплення як функції від кута повороту привідного валу використана розрахункова схема, зображена у відповідності з рисунком 3.1.

Із трикутника Δcse знаходимо $s\varepsilon$:

$$s\varepsilon^2 = d^2 + r^2 - 2dr \cos(90^\circ - \varphi) \quad (3.1)$$

або

$$s\varepsilon = \sqrt{d^2 + r^2 - 2dr \sin \varphi} \quad (3.2)$$

Із того ж трикутника:

$$\sin \alpha = \frac{r \sin(90^\circ - \varphi)}{s\varepsilon} = \frac{r \cos \varphi}{s\varepsilon} \quad (3.3)$$

Підставивши значення $s\varepsilon$ в останню формулу отримаємо:

$$\sin \alpha = \frac{r \cos \varphi}{\sqrt{d^2 + r^2 - 2dr \sin \varphi}} \quad (3.4)$$

тоді

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{r \cos \varphi}{\sqrt{d^2 + r^2 - 2dr \sin \varphi}} \right)^2} \quad (3.5)$$

або

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{r^2 \cos^2 \varphi}{d^2 + r^2 - 2dr \sin \varphi}} \quad (3.6)$$

Тоді

$$L \cos \alpha = L \sqrt{1 - \frac{r^2 \cos^2 \varphi}{d^2 + r^2 - 2dr \sin \varphi}} \quad (3.7)$$

звідки

$$y = r \sin \varphi + L \sqrt{1 - \frac{r^2 \cos^2 \varphi}{d^2 + r^2 - 2dr \sin \varphi}} \quad (3.8)$$

де L – довжина шатуна $M\varepsilon$.

Визначення координати x кінця захвату як функції кута повороту привідного валу виводиться на основі розрахункової схеми, зображеної на рисунку 3.2:

$$-x = L \sin \alpha - r \cos \varphi. \quad (3.9)$$

Підставивши значення $\sin \alpha$, відповідно рівнянню (3.4), отримаємо:

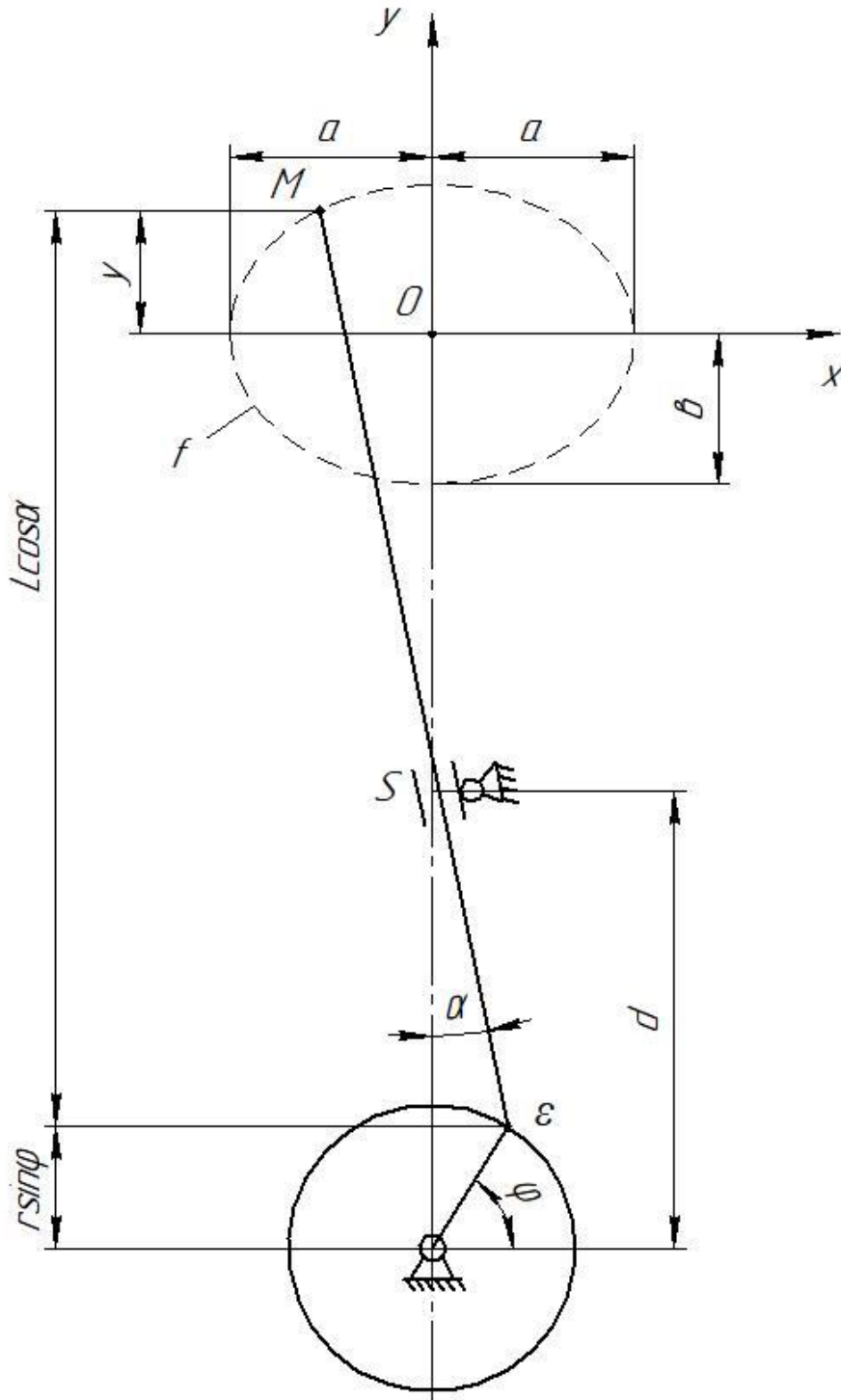


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема для визначення координати y кінця захвату

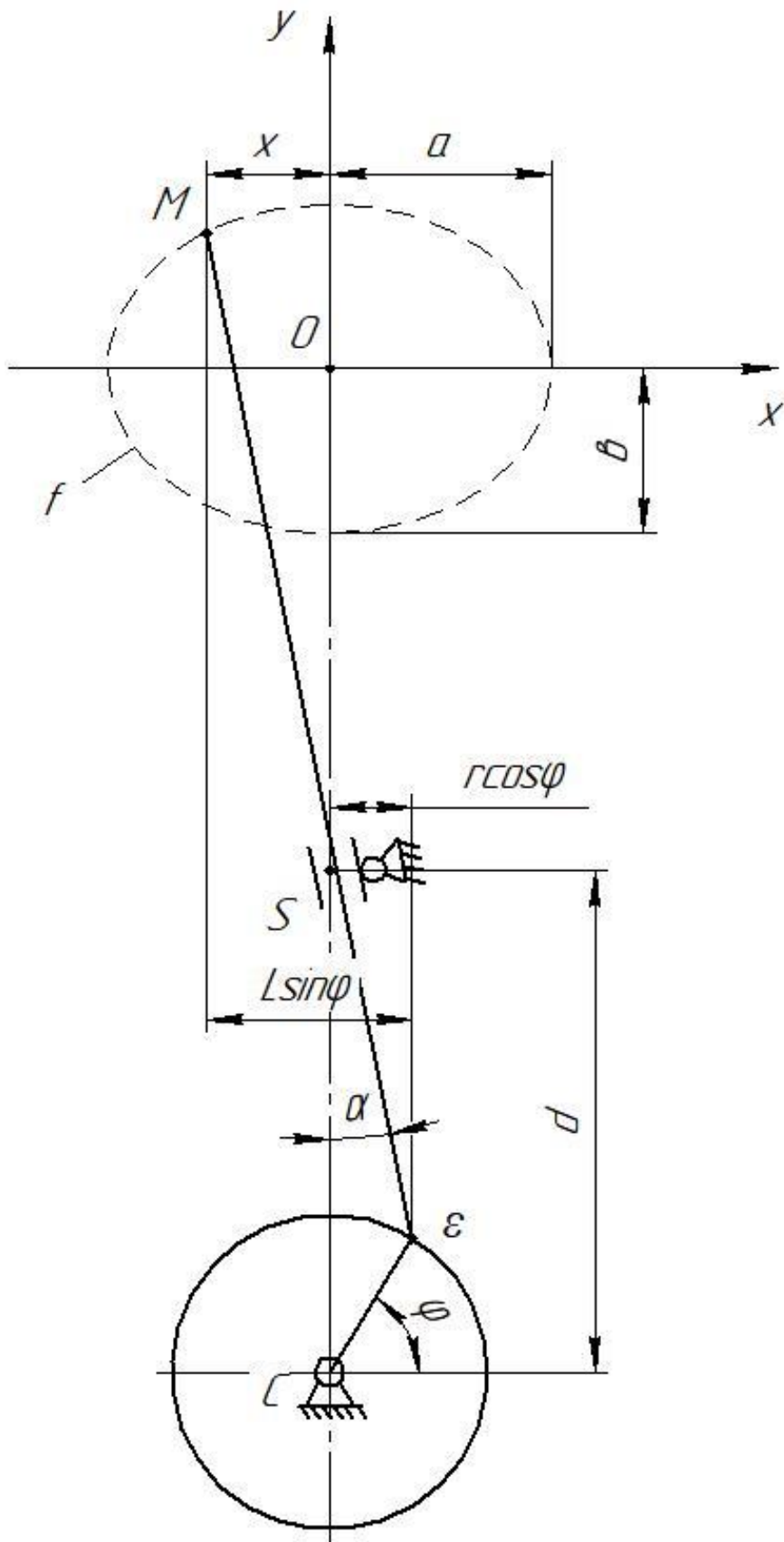


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема для визначення координати x кінця захвату

$$x = -L \frac{r \cos \varphi}{\sqrt{d^2 + r^2 - 2dr \sin \varphi}} + r \cos \varphi \quad (3.10)$$

Траєкторія кінця захвату струшувача позначена у відповідності з рисунками 3.1 і 3.2 символом f . Ця крива описується рівняннями (3.8) і (3.10) та являє собою в певній мірі викривлений еліпс [28,29].

В результаті досліджень фізико-механічних властивостей плодових гілок різних культур були визначені коефіцієнти жорсткості гілок в різних напрямках [13,14,27]. Результати цих досліджень показують, що жорсткість гілок у вертикальному напрямі дещо вища, ніж в горизонтальному. Відношення вертикальної K_v жорсткості до горизонтальної K_h :

$$i = \frac{K_v}{K_h}. \quad (3.11)$$

Визначено, що середня величина i_{cp} складає:

- для зерняткових культур $i_{cpc} = 1,26$;
- для кісточкових культур $i_{cpc} = 1,24$.

Так як різниця між цими величинами незначна, то для всіх культур приймаємо $i = 1,25$.

У зв'язку з викладеним доцільно, щоб дотримувалося наступне співвідношення:

$$\frac{a}{b} = i, \quad (3.12)$$

де a – велика пів вісь еліпса;

b – мала пів вісь еліпса.

Прийmemo $b = 0,5 A$, де A – оптимальне значення амплітуди коливань захвата струшувача.

В результаті експериментальних досліджень експерименту встановлено, що для кісточкових культур $A = 23$ мм. Тоді пів осі еліпса: $b = 11,5$ мм, $a = b \cdot i = 14,4$ мм [13,14,27].

Вагомим параметром конструкції струшувача є відношення:

$$\lambda = \frac{r}{L}, \quad (3.12)$$

де r – радіус кривошипа;

L – довжина шатуна.

Чим більше це співвідношення, тим менше довжина шатуна і тим менші габарити та маса струшувача. Однак, при цьому траєкторія кінця захвату в більшому степені відрізняється від еліпса. Це призводить до погіршення гармонійності динаміки коливального процесу. З урахуванням цих обставин прийнято $\lambda = 0,1$. Із розрахункових схем, показаних у відповідності до рисунків 3.1 і 3.2, видно, що $r = \rho = 11,5$ мм. Із формули (3.13) знаходимо: $L = 115$ мм.

Відповідно розрахункової схеми виходить залежність:

$$\frac{L - d}{d} = k, \quad (3.14)$$

де d – відстань від центра обертання кривошипа до осі обертання шатуна;

k – співвідношення плечей шатуна відносно точки S .

Із формули (3.14) знаходимо:

$$d = \frac{L}{1 + k} = \frac{115}{1 + 1,25} = 51 \approx 50 \text{ мм.}$$

Підставивши знайдені значення r , L і d в рівняння (3.8) і (3.10), отримаємо:

$$x = 11,5 \cos \varphi - \frac{1322 \cos \varphi}{\sqrt{2632 - 1150 \sin \varphi}} \quad (3.15)$$

$$y = 11,5 \sin \varphi + 115 \sqrt{1 - \frac{132 \cos^2 \varphi}{2632 - 1150 \sin \varphi}} \quad (3.16)$$

Рівняння (3.15) і (3.16) з математичною точністю описують траєкторію руху кінця захвату струшувача. Однак ці рівняння дуже громіздкі і складні для подальшого аналізу, мета якого визначити швидкість та прискорення кінця захвату, як функції від часу.

Траєкторію f із визначеною точністю можна апроксимувати рівнянням еліпса у вигляді [28]:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (3.17)$$

Підставивши значення a і b отримаємо:

$$\frac{x^2}{14,4^2} + \frac{y^2}{11,5^2} = 1 \quad \text{або} \quad \frac{x^2}{207} + \frac{y^2}{132} = 1 \quad (3.18)$$

В координатному способі задання траєкторії руху точки, отримаємо [28,29]:

$$x = a \cos \varphi = a \cos \omega t \quad (3.19)$$

$$y = b \sin \varphi = b \sin \omega t \quad (3.20)$$

де ω – кутова швидкість обертання кривошипа ($\omega = 2\pi n$, де n – частота обертання вала приводу, $n = \nu$).

Оптимальна частота коливань ν для кісточкових культур знайдена в результаті багатофакторного експерименту ($\nu = 14,6$ Гц). Знаходимо $\omega = 2\pi \cdot 14,6 = 91,7$ рад/с [13,14,27].

Підставивши значення ω в рівняння (3.19) і (3.20), отримаємо:

$$x = -14,4 \cos 91,7t \quad (3.21)$$

$$y = 11,5 \sin 91,7t \quad (3.22)$$

Для оцінки ступені адекватності цих рівнянь з інтервалом $\Delta\varphi = \pi$ вираховані значення \bar{x} і \bar{y} із рівнянь (3.15) і (3.16) та значення x і y із рівнянь (3.19) і (3.20). Визначені різниці цих значень:

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}_i$$

$$\Delta y_i = y_i - \bar{y}_i \quad (3.23)$$

І, відповідно, квадрати різниць:

$$(\Delta x_i)^2 = (x_i - \bar{x}_i)^2$$

$$(\Delta y_i)^2 = (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (3.24)$$

Таблиця 3.1 – Розрахункова таблиця оцінки ступеня адекватності рівняння еліпса

№ п/п	φ	x_i	\bar{x}_i	$ x_i - \bar{x}_i $	$(x_i - \bar{x}_i)^2$	y_i	\bar{y}_i	$ y_i - \bar{y}_i $	$(y_i - \bar{y}_i)^2$
1	0	-14,4	-14,4	0	0	0	6,85	1,3	1,69
2	$\pi/4$	-10,2	-12,0	1,8	3,24	8,05	11,5	1,2	1,44
3	$\pi/2$	0	0	0	0	11,5	6,85	0	0
4	$3\pi/4$	10,2	12,0	1,8	3,24	8,05	-1,3	1,2	1,44
5	π	14,4	14,4	0	0	0	-9,25	1,3	1,69
6	$5\pi/4$	10,2	7,8	2,4	5,76	-8,05	-11,5	1,2	1,44
7	$3\pi/2$	0	0	0	0	-11,5	-9,25	0	0
8	$7\pi/4$	-10,2	-7,8	2,4	5,76	-8,05	6,85	1,2	1,44

Окремо для x і y вираховані суми квадратів відхилень і дисперсії за формулами [28]:

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{n} = 2,25 \quad (3.25)$$

і

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n} = 1,14 \quad (3.26)$$

Результати цих розрахунків наведені в таблиці 3.1.

$$\begin{array}{ll} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2 = 18 & \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 = 9,14 \\ \sigma_x = 1,5 & \sigma_y = 1,07 \end{array}$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_x = \sqrt{S_x^2} = 1,5$$

$$\sigma_y = \sqrt{S_y^2} = 1,07$$

Порівняємо середньоквадратичне відхилення x і y з інтервалами їх варіювання, тобто з величинами a і b .

$$P_x = \frac{\sigma_x}{a} \cdot 100 = 5,2\%;$$

$$P_y = \frac{\sigma_y}{b} \cdot 100 = 4,7\%.$$

Таким чином, при вибраному значення $\lambda=0,1$ середньоквадратичне відхилення умовно прийнятої математичної моделі траєкторії руху захвату від теоретичної ледь перевищує 5%, чим можна знехтувати.

Для визначення швидкості і прискорення кінця захвату, як функцій від часу, знаходимо перші та другі похідні рівнянь (3.21) і (3.22):

$$\dot{x} = -1,44(-\sin 91,7t) \cdot 91,7 = 1320 \sin 91,7t; \quad (3.27)$$

$$\dot{y} = 11,5(\cos 91,7t) \cdot 91,7 = 1054 \cos 91,7t; \quad (3.28)$$

$$\ddot{x} = 1320 \cdot \cos 91,7t \cdot 91,7 = 121044 \cos 91,7t; \quad (3.29)$$

$$\ddot{y} = 1054 \cdot (-\sin 91,7t) \cdot 91,7 = -96652 \sin 91,7t. \quad (3.30)$$

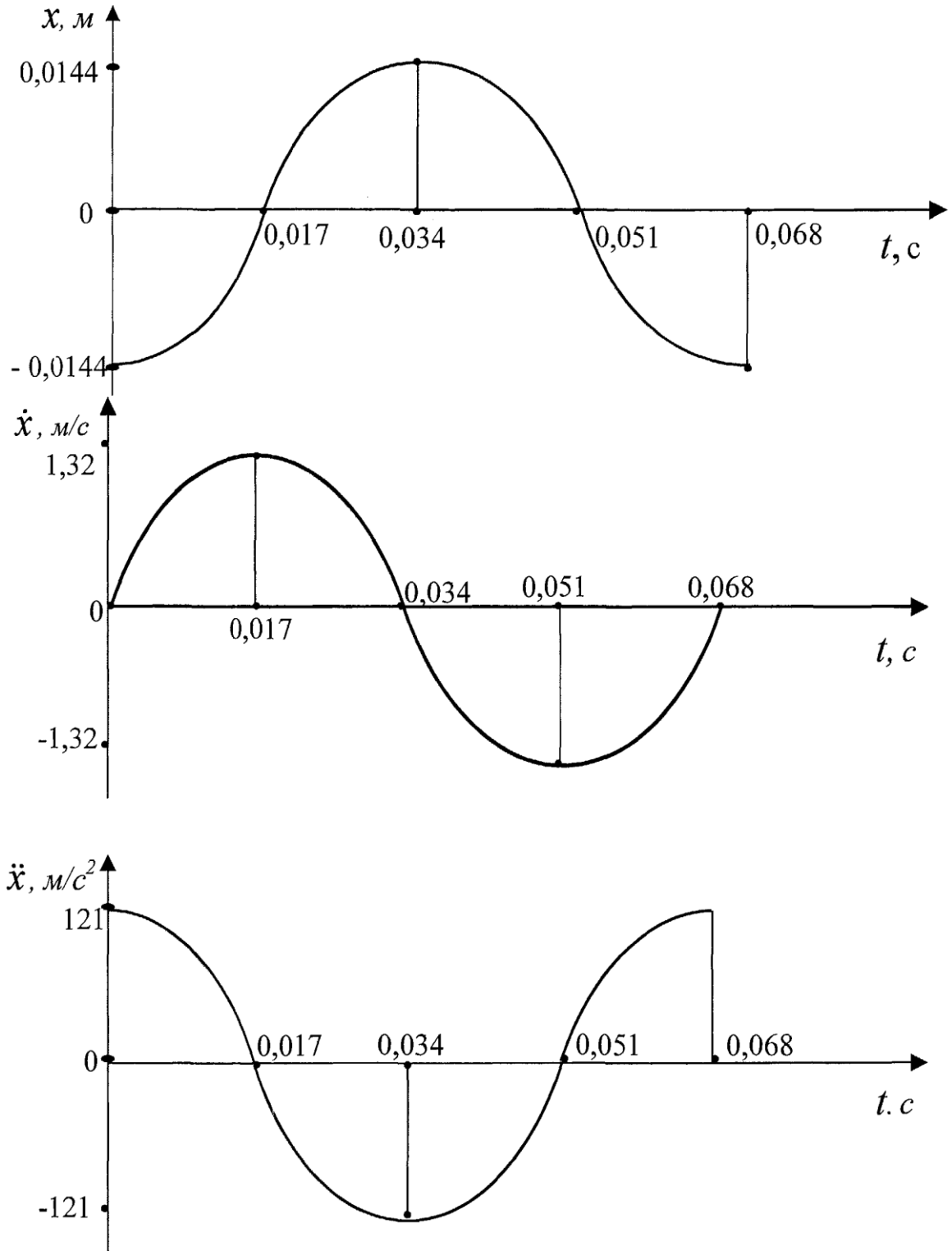


Рисунок 3.3 – Графіки залежності проєкцій на вісь x шляху, швидкості і прискорення кінця захвату для кісточкових культур

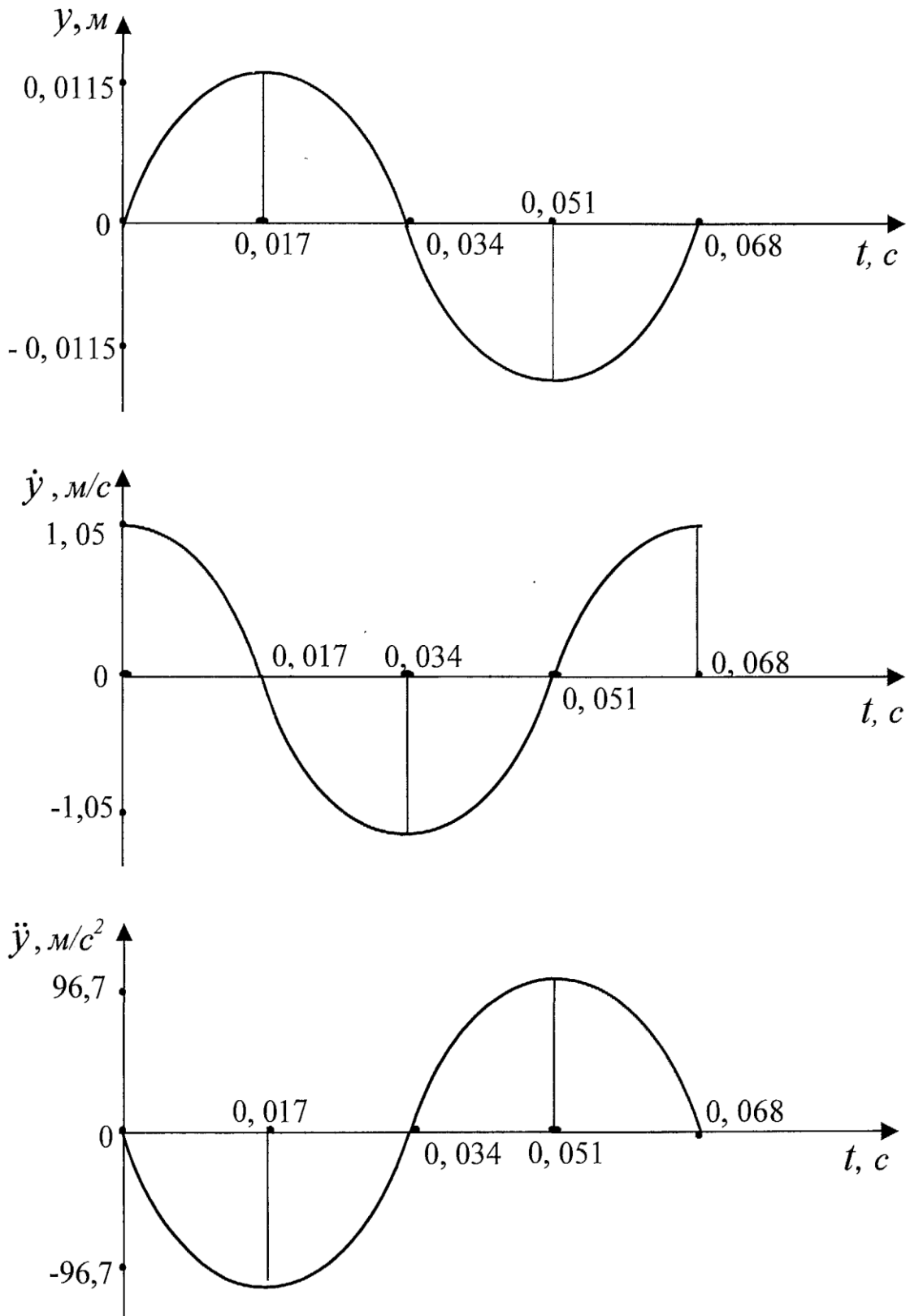


Рисунок 3.3 – Графіки залежності проєкцій на вісь y шляху, швидкості і прискорення кінця захвату для кісточкових культур

Підставивши в рівняння (3.21)...(3.30) через рівні інтервали значень ωt , побудовані графіки залежності шляху, швидкості і прискорення кінця захвату від часу зерняткових культур. Для зручності розрахунків використано таблицю 3.2. Графіки зображені у відповідності з рисунками 3.3 і 3.4, показують один повний період коливань.

Таблиця 3.2 – Розрахункова таблиця для побудови графіків залежності, швидкості і прискорень кінця захвату від часу для кісточкових культур

№	ωt , рад	t , с	$\cos\omega t$	$\sin\omega t$	x , м	\dot{x} , м/с	\ddot{x} , м/с ²	y , м	\dot{y} , м/с	\ddot{y} , м/с ²
1	0	0	1	0	-0,0144	0	121	0	1,05	0
2	$\pi/2$	0,017	0	1	0	1,32	0	0,0115	0	-96,7
3	π	0,034	-1	0	0,0144	0	-121	0	-1,05	0
4	$3\pi/2$	0,051	0	-1	0	-1,32	0	-0,0115	0	96,7
5	2π	0,068	1	0	-0,0144	0	121	0	1,05	0

Аналогічні розрахунки проведені для зерняткових культур. В результаті багатофакторного експерименту для зерняткових культур встановлено, що оптимальне значення амплітуди коливань $A=28$ мм, а частота коливань $\nu = 8,8$ Гц [13,14,27].

З врахуванням цього, знаходимо радіус кривошипа і піввісь a еліпса:
 $r = 14$ мм, $a = 17,5$ мм.

Довжина шатуна: $L = r / \lambda = 140$ мм.

Відстань від центра кривошипа до центра обертання куліси:

$$d = \frac{L}{1+k} = 62 \text{ мм.}$$

Із конструктивних міркувань приймаємо $d = 60$ мм.

Наближене рівняння траєкторії руху кінця захвату:

$$\frac{x^2}{17,5^2} + \frac{y^2}{14^2} = 1 \quad \text{або} \quad \frac{x^2}{306} + \frac{y^2}{196} = 1 \quad (3.31)$$

В координатах x і y рівняння руху точки захвату прийме вигляд:

$$x = a \cos \omega t \quad (3.32)$$

$$y = b \sin \omega t \quad (3.33)$$

Кутова швидкість обертання кривошипа: $\omega = 2\pi n$ ($n = \nu = 8,8$ Гц).

Підставивши рівняння a , b і ω в рівняння (3.32) і (3.33), отримаємо:

$$x = -17,5 \cos 55t \quad (3.34)$$

$$y = 14 \sin 55t \quad (3.35)$$

Шляхом диференціювання рівнянь (3.34) і (3.35) знаходимо рівняння для швидкості та прискорення [28]:

$$\dot{x} = -17,5(-\sin 55t) \cdot 55 = 962 \sin 55t; \quad (3.36)$$

$$\dot{y} = 14(\cos 55t) \cdot 55 = 770 \cos 55t; \quad (3.37)$$

$$\ddot{x} = 962 \cdot \cos 55t \cdot 55 = 52910 \cos 55t; \quad (3.38)$$

$$\ddot{y} = 770 \cdot (-\sin 55t) \cdot 55 = -42350 \sin 55t. \quad (3.39)$$

Підставивши у рівняння (3.34)...(3.39) через рівні інтервали значення ωt , розраховані значення шляху, швидкості та прискорення, які наведено в таблиці 3.3. По цих значення побудовані графіки залежності шляху, швидкості та прискорення кінця захвату від часу для кісточкових культур. Графіки зображено у відповідності до рисунків 3.5 і 3.6.

Таблиця 3.3 – Розрахункова таблиця для побудови графіків залежності, шляху, швидкості і прискорень кінця захвату від часу для зерняткових культур

№	ωt , рад	t , с	$\cos \omega t$	$\sin \omega t$	x , м	\dot{x} , м/с	\ddot{x} , м/с ²	y , м	\dot{y} , м/с	\ddot{y} , м/с ²
1	0	0	1	0	-0,0175	0	52,9	0	0,77	0
2	$\pi/2$	0,029	0	1	0	0,962	0	0,014	0	-42,3
3	π	0,057	-1	0	0,0175	0	-52,9	0	-0,77	0
4	$3\pi/2$	0,086	0	-1	0	-0,962	0	-0,014	0	42,3
5	2π	0,114	1	0	-0,0175	0	52,9	0	0,77	0

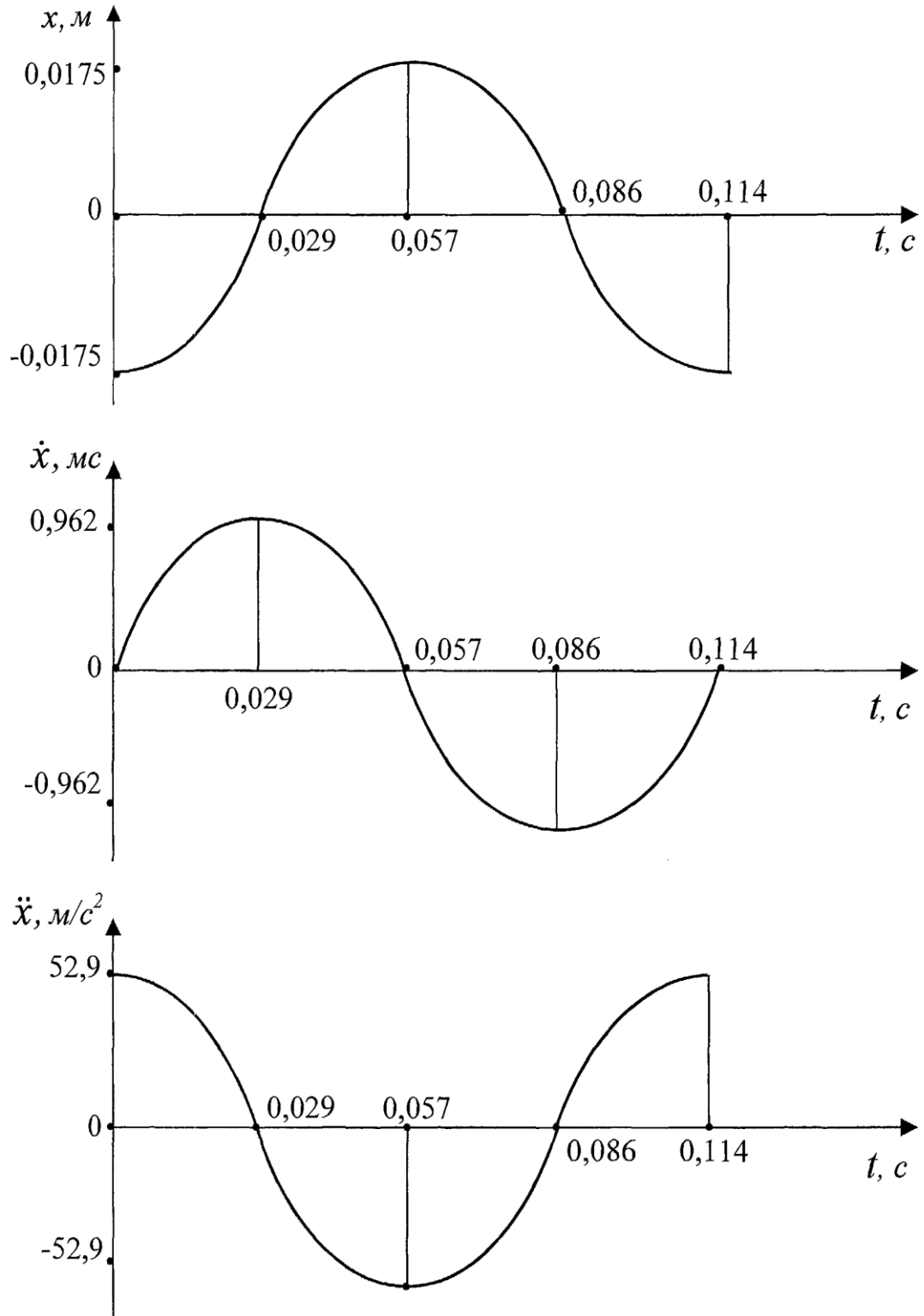


Рисунок 3.5 – Графіки залежності проекцій на вісь x шляху, швидкості і прискорення кінця захвату для зерняткових культур

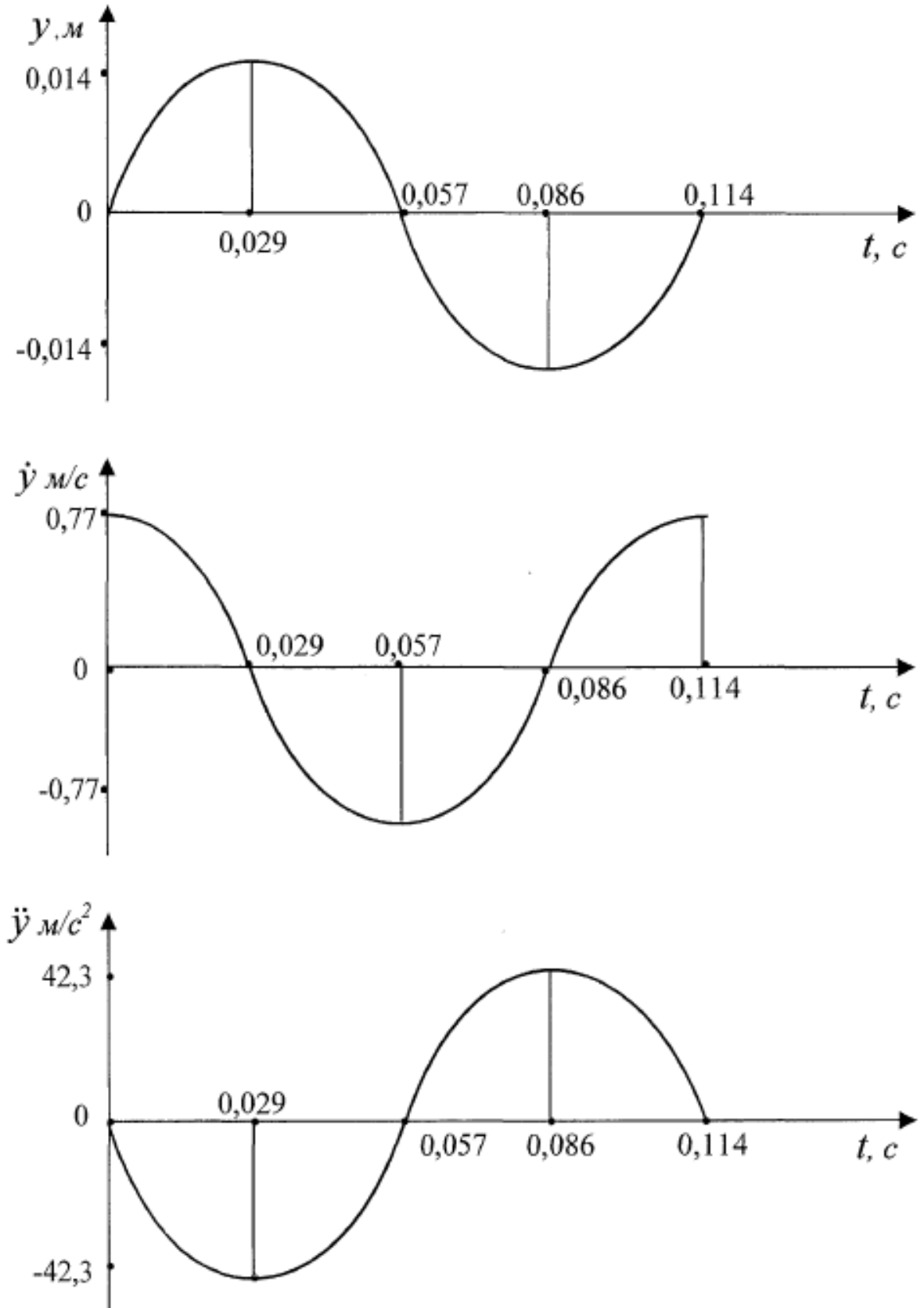


Рисунок 3.6 – Графіки залежності проєкцій на вісь y шляху, швидкості і прискорення кінця захвату для зерняткових культур

При робочому процесі струшувач здійснює маятникові рухи, повертаючись на деякий кут. При цьому створюється момент інерції визначеної величини. Однак цією величиною можна знехтувати, оскільки максимальний кут повороту дорівнює:

$$\beta_{max} = \arctg \frac{A}{l_{min}}, \quad (3.40)$$

де A – амплітуда коливань кінця захвату струшувача;

l_{min} – мінімальна довжина штанги струшувача ($l_{min} = 1,5$ м).

Кут повороту струшувача не перевищує 1^0 . Величиною моменту інерції можна знехтувати, тому в розрахунках цей фактор не враховано.

Висновки

1. Досліджено кінематику процесу коливання захвату струшувача, побудовано розрахункові схеми для визначення координат шляху кінця захвату струшувача, виведено рівняння, які з математичною точністю описують траєкторію руху кінця захвату струшувача.

2. Запропоновані наближені параметричні та канонічні рівняння еліпса траєкторії руху кінця захвату. На їх основі виведено та розраховано значення швидкості та прискорення в залежності від часу кінця захвату струшувача, а також побудовано відповідні графіки, для зерняткових та кісточкових плодів.

3. Для запропонованого струшувача з електричним приводом швидкість та прискорення кінця захвату при взаємодії з гілкою для кісточкових плодів відповідно, буде становити: 0,77 м/с і 42,3 м/с²; а для зерняткових: 0,962 м/с і 52,9 м/с².

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

4.1 Моделювання процесів виникнення травм, аварій і катастроф

Для аналізу потенційних чи існуючих травмонебезпечних чи аварійних ситуацій, що виявлені при обстеженні робочих місць, машин чи агрегатів, доцільно застосовувати метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій. Проте метод логічного моделювання не може бути використаний для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій і катастроф, оскільки будь-яка аварія чи катастрофа може виникнути внаслідок однієї з багатьох потенційно небезпечних ситуацій [22].

Для проведення аналізу складних систем використовують метод «дерева відказів та помилок оператора». Такий метод дає можливість провести математичну обробку моделі для обчислення ймовірності виникнення аварій, травм та катастроф [22].

Головними принципами побудови моделі є [22]:

- аналізується виробництво в якому можливе виникнення аварій, травм або катастроф;
- приймають головну подію (аварію, травму або катастрофу);
- шляхом логічного аналізу пов'язують головну подію з наступною, що зумовлює її виникнення, покроково приходячи до кінцевих подій з яких починає формуватися головна подія.

Для того щоб запровадити на виробництві оцінку рівня небезпеки певного об'єкта або явища, потрібно мати простий і доступний метод розрахунку значень ймовірності випадкового явища [22].

На основі огляду робочого місця чи технологічної машини (обладнання) виявляють можливі ризики, що можуть призвести до аварійної чи травмонебезпечної ситуації. Під час оцінки небезпечних ситуацій

визначають події, із яких вибирають головну випадкову що використовують для виконання побудови логіко-імітаційної моделі.

Обирають головну випадкову подію керуючись оцінкою відповідного об'єкта виробництва та змісту його найнебезпечнішого явища, що може з'явитися на виробництві за виникнення певних умов.

Відібравши головну подію виконують побудову логіко-імітаційної моделі.

Визначають перелік ситуацій, які можуть спричинити до виникнення головної події та об'єднують їх з головною подією за допомогою операторів «І» та «АБО» [22].

Після визначення аварійних або травмонебезпечних ситуацій і їх кількості, методом логічного аналізу визначають інші події, які входять до кожної такої ситуації також використовуючи оператори «І» та «АБО». Виконання побудови триває доти, поки повністю будуть знайдені всі базові події [22].

Оператор «І» також застосовують, коли вихідна подія відбувається, якщо водночас реалізуються всі вхідні події [22].

Вихідна подія оператора «АБО» виконується, якщо має місце хоча б одна з вхідних подій [22].

Як правило оператори логіко-імітаційних моделей зображують у вигляді символів. Вони з'єднують події відповідно до причинних співвідношень між ними і обов'язково повинні мати вхід і вихід. Оператор може мати кілька входів, проте вихід повинен бути тільки один [22].

Побудована модель піддається математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, починаючи з базових і закінчуючи головною. Ймовірність базових подій визначають за даними виробництва.

Математичні обчислення ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують формули [22].

1. Нехай дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора «І» входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2, \quad (4.1)$$

2. За допомогою оператора «І» три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \quad (4.2)$$

3. Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора «АБО» входять до третьої події. Тоді її ймовірність P_3 буде:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2, \quad (4.3)$$

4. Оператор «АБО» об'єднує три базові події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 , які за допомогою нього оператора входять у наступну подію з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1P_2 - P_1P_3 - P_2P_3 + P_1P_2P_3, \quad (4.4)$$

Поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, визначають ймовірність виникнення головної події.

Для обчислення ймовірності виникнення травми при роботі з установкою для активного вентилявання сіна, використаємо логіко-імітаційну модель процесу її процесу (рисунок 4.1).

Ймовірності базових подій приймемо умовно:

- стан контролю (P_1) – 0,3;
- професійний рівень працівників (P_5) – 0,5;
- ізоляція відсутня (P_2) – 0,4;
- несправна мережа (P_7) – 0,3;
- заземлення не відводить електричний струм (P_{24}) – 0,1;
- до обладнання доторкався працівник (P_{24}) – 0,1.

Відповідно до логіко-імітаційної моделі проводимо розрахунки ймовірностей подій за формулами (4.1)...(4.4).

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 \quad P_3 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,65.$$

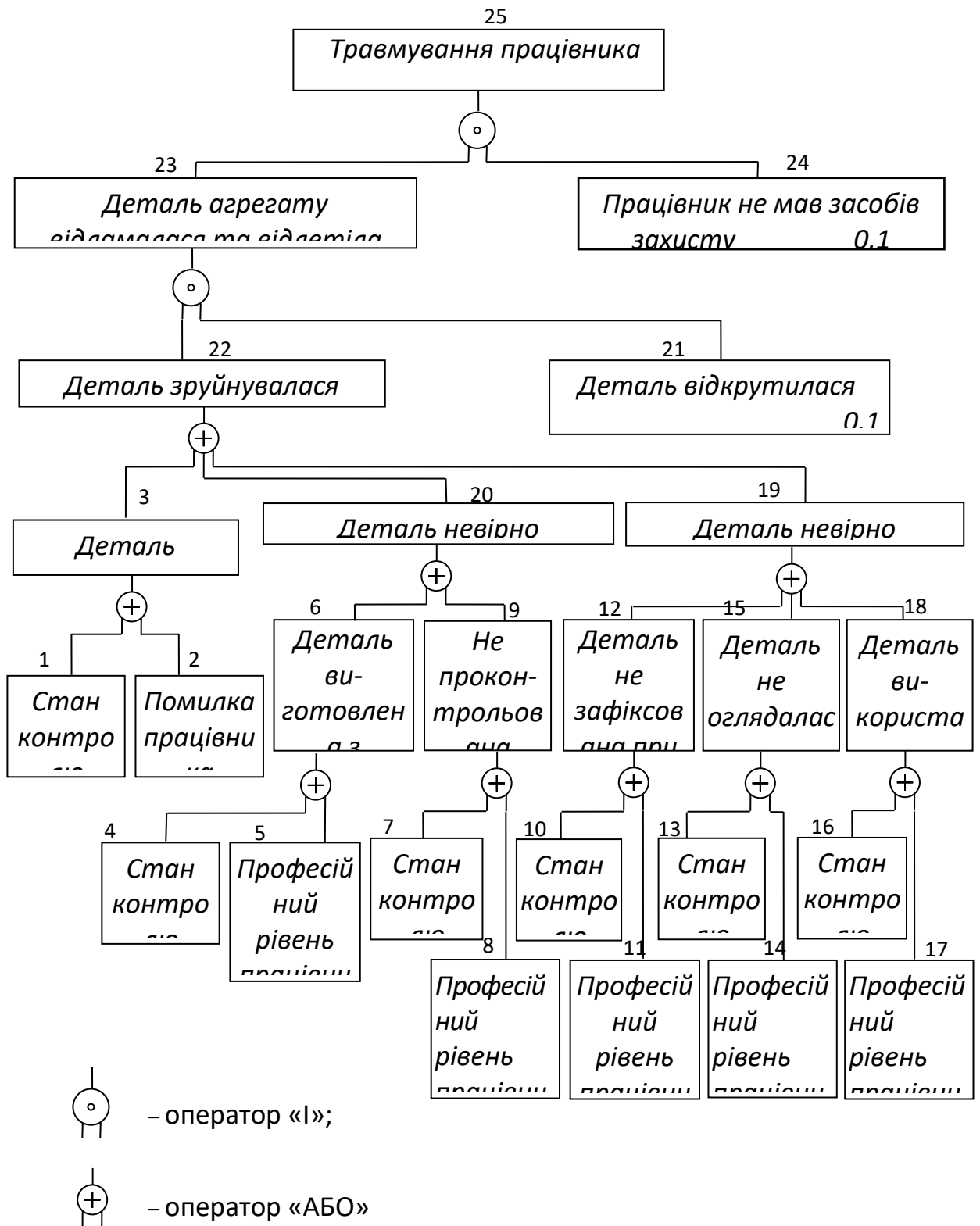


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми під час роботи струшувача плодів з електроприводом

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_6 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_9 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_{12} = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_{15} = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_{18} = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_{20} = 0,58 + 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 = 0,82;$$

$$P_{19} = 0,58 + 0,58 + 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 + \\ + 0,58 \cdot 0,58 \cdot 0,58 = 0,46;$$

$$P_{20} = 0,58 + 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 = 0,82;$$

$$P_{22} = 0,65 + 0,82 + 0,46 - 0,65 \cdot 0,82 - 0,82 \cdot 0,46 - 0,65 \cdot 0,46 + \\ + 0,65 \cdot 0,82 \cdot 0,46 = 0,69;$$

$$P_{23} = 0,69 \cdot 0,1 = 0,069;$$

$$P_{25} = 0,0069 \cdot 0,1 = 0,0069.$$

Отже, як показали розрахунки ймовірність виникнення аварії (травмування працівника) становить 0,69. Ймовірність виникнення травми є значно нижчою від ймовірності виникнення аварії і становить 0,0069, а це означає, що на кожні 1000 таких робочих місць, при наявності таких подій, можна очікувати 6,9 травм.

Логіко імітаційні моделі аварій та травм дають можливість спрогнозувати і, ти самим, зменшити ймовірність виникнення аварійних та травмонезбезпечних ситуацій. Таким чином, для оцінки рівня небезпеки робочого місця необхідно побудувати логіко-імітаційну модель потенційно небезпечних ситуацій та обчислити ймовірність виникнення травми.

4.2 Вплив технології на стан довкілля

З розвитком аграрного виробництва значно зріс у негативному напрямку вплив людини на природу. Розвиток сільськогосподарського виробництва спричинив перехід людини від споживання продуктів природного походження до вжитку природних умов та ресурсів, для вирощування рослин та тварин.

На теперішній час аграрне виробництво характеризується середнім ступенем контакту із навколишнім середовищем та є одним із основних.

Інтенсивне сільськогосподарське виробництво передбачає використання великої кількості тракторів, самохідних машин, добрив і отрутохімікатів. Їх неправильне використання може негативно вплинути на рослинний та тваринний світ і принести шкоду навколишньому середовищу.

Із підвищенням рівня інтенсивності виробництва в сільському господарстві одночасно значно зростає його виснажлива дія на навколишнє природне середовище. Така ступінь інтенсифікації сільськогосподарського виробництва призвела до цілої низки небажаних наслідків: деградації ґрунтів, забруднення навколишнього природного середовища мінеральними добривами та пестицидами, заболоченню, опустеленню та ін. Ці негативні фактори супроводжуються низьким рівнем культури землеробства, застосуванням неефективних та застарілих технологій виробництва сільськогосподарської продукції.

Запропонована технологія збирання плодів передбачає використання важких сільськогосподарських машин та великої кількості проходів тракторів та сільськогосподарської техніки поверхнею садів, що значно впливає на щільність та структуру ґрунту.

Найбільш значної шкоди навколишньому природному середовищу завдають засоби хімічного захисту рослин та мінеральні добрива, які вносяться із порушенням агротехнічних вимог. Оскільки в інтенсивних садах застосування засобів хімічного захисту є неодмінним, то потрібно чітко та

неухильно дотримуватися норм внесення отрутохімікатів і дотримання правил техніки безпеки поводження.

Знімання плодів з дерев виконується машинами ударної дії, тому потрібно звернути увагу на процес взаємодії робочих органів (механізму захвату) із корою дерева. Зважаючи на те, що по штамбу дерева наносяться ударні навантаження, то існує ймовірність пошкодження кори, що, в свою чергу, може негативно вплинути на плодоношення дерева. Необхідно провести ретельніші дослідження впливу робочих органів та механізму захвату від пошкодження машини для струшування плодів на її вплив на дерева, та його наслідки.

Також, слід зауважити, що під час передачі вібраційних зусиль від робочих органів до штамба дерева, вони передаються кореневій системі. Тому недотримання допустимих коливань може призвести до порушення зв'язку кореневої системи дерева, а це в свою чергу може негативно вплинути на зменшення родючості або взагалі загибелі дерева. Тому потрібно дотримуватись агротехнічних вимог під час виконання операції струшування плодів струшувачем із електроприводом.

Висновки

Розглянуто методіку моделювання процесів виникнення травмо-небезпечних або аварійних ситуацій. Здійснено моделювання процесу виникнення травматичної ситуації і виконано оцінку рівня небезпеки під час операції знімання плодів струшувачем із електроприводом.

Також проаналізовано вплив операції струшування плодів струшувачем із електроприводом на навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РУЧНОГО СТРУШУВАЧА ПЛОДІВ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Економічний аналіз проводиться з метою визначення ефективності застосування ручного струшувача плодів з електроприводом. На основі результатів досліджень під час польових випробувань зразка струшувача плодів, який виконував знімання плодів з дерев на підготовлену поверхню в міжрядді саду, були визначені експлуатаційні показники.

Запропонований ручний струшувач з електроприводом порівнювався із ручним збиранням плодів. Під час розрахунків використовувалися основні нормативно-довідкові матеріали, прайс листи цін на трактори і сільськогосподарську техніку, а також типові норми виробітку і тарифні ставки робітників, що діють на теперішній час при цьому враховуючи, що розвиток сільськогосподарського виробництва характеризується значною нестабільністю цін на техніку та сільськогосподарську продукцію.

Розрахунки проводились за стандартизованою методикою визначення економічної ефективності спеціалізованої сільськогосподарської техніки [23,24,25]. Частково механізована технологія збирання яблук з використанням ручного струшувача з електроприводом порівнювалась з ручним збиранням. Працівник-збирач за ручної технології використовував плодозбиральну сумку і драбину, а в разі частково механізованої – модернізований ручний струшувач з електроприводом та уловлювач у вигляді суцільного агроволокна. Уловлювач розстелявся під кронами дерев двома допоміжними працівниками, які також підбирали і завантажували опалі яблука у тару, зокрема контейнери.

Для розрахунку використовувалися вихідні дані станом на 01.09.2023 року (таблиця 5.1). У вихідних даних для розрахунку економічної ефективності ручного струшувача плодів із електричним приводом, взяті

тільки ті показники, що відносяться до технологічного процесу струшування плодів та мають вплив на економічний ефект.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності ручного струшувача плодів із електроприводом

Показники	Збирання	
	ручне	струшувач
1	2	3
Продуктивність агрегату або машини за годину змінного часу: дерев/год	1,07	6,2
Балансова вартість, грн :		
машини		85000
допоміжне обладнання	7400	1800
Річне завантаження, год.:		
допоміжне обладнання	210	210
машини	210	210
Чисельність виробничого персоналу, чол.:		
основного	1	1
допоміжного персоналу	–	1
Годинні тарифні ставки, грн/люд.год :		
основного персоналу	80	80
допоміжного персоналу		55
Коефіцієнт, що враховує доплати:		
основного персоналу	1,1	1,1
допоміжного персоналу		1,1
Коефіцієнт відрахувань на реновацію:		
допоміжне обладнання	0,22	0,22
машини	0,125	0,125
Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування		
допоміжне обладнання	0,22	0,22
машини	0,16	0,16

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт:		
допоміжне обладнання	0	0
машини	0	00,5
Витрата електроенергії, Вт/кг	0	0,52
Ціна 1 кВт електроенергії, грн/кВт	0	2,6
Коефіцієнти затрати на зберігання від вартості технічного обслуговування		
допоміжне обладнання	0,065	0,065
машини	0,065	0,065
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	0,15	
Коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту	0,95	
Коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову	1,1	

Розрахунок економічної ефективності запропонованого струшувача проводиться на ПК з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel на кафедрі агроінженерії та технічного сервісу ім.проф.Семковича О.Д.

Вихідні дані з таблиці 5.1 заносилися в розроблену програму. Показники економічної ефективності розраховувалися за відомими формулами та отримані результати виводяться у таблицю 5.2 результатів розрахунку економічної ефективності.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку економічної ефективності
струшувача плодів

Показники	машина	
	Базова	Удосконалена
1. Річне напрацювання, дерев	225	1302
2. Прямі затрати (грн/дерев) на:		
– оплату праці	82,24	23,95
– паливо-мастильні матеріали	0	1,35
– технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт	7,25	14,01
– реновацію	7,25	8,46
– інші прямі затрати	0	0,89
– всього прямих затрат	96,74	48,66
3. Капітальні вкладення, грн/дерев	32,93	66,67
4. Зведені затрати, грн/дерев	101,68	58,66
5. Річний економічний ефект від експлуатації ручного струшувача, грн	—	56012
6. Економічний ефект від виробництва і використання за строк служби струшувача, грн	—	203680
7. Верхня межа ціни нової машини, грн	—	262436
8. Лімітна ціна нової машини, грн	—	249314
9. Затрати праці, люд.-год/дерев	0,93	0,32
10. Річна економія праці, люд-год.	—	794
11. Ступінь зменшення затрат (в %)		
– праці	—	65,59
– прямих затрат	—	49,7
– зведених затрат	—	42,31
– капіталовкладень	—	-102,46

Як бачимо з таблиці 5.2 відсоток зменшення затрат праці складає 65,59 % за рахунок підвищення продуктивності запропонованого способу збирання із використанням ручного струшувача із електроприводом. Також досягнуто зменшення прямих затрат на 49,7%, зведених на 42,31%, за збільшених капіталовкладень на 102,46%. Річний економічний ефект від експлуатації ручного струшувача плодів із електроприводом порівняно із ручним збиранням буде становити 56012 гривень (в цінах на 01.09.2023 р.) за умови річного навантаження 1302 дерева.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Для збирання плодів використовують три способи: ручний – з використанням засобів малої механізації; напівмеханізований – з використанням різних мобільних платформ; механізований – з використанням вібраційних плодозбиральних машин та комбайнів.

2. На теперішній час найбільш прийнятним (технічно та економічно) способом збирання плодів в малих фермерських господарствах і садових ділянках, а також в гірських районах є ручний з використанням різних засобів малої механізації.

3. Найбільш ефективним та перспективним засобом малої механізації може бути портативна установка, що складається із механізованого струшувача гілок та вловлювача плодів, робочий процес яких не прив'язаний до використання тракторів та інших енергоємних агрегатів.

4. В результаті пошукових досліджень проаналізовано різні варіанти кінематичних схем конструкцій ручних вібраційних струшувачів та обґрунтовано його раціональну конструктивну технологічну схему.

5. Досліджено кінематику процесу коливання захвату струшувача, побудовано розрахункові схеми для визначення координат шляху кінця захвату струшувача, виведено рівняння, які з математичною точністю описують траєкторію руху кінця захвату струшувача.

6. Запропоновані наближені параметричні та канонічні рівняння еліпса траєкторії руху кінця захвату. На їх основі виведено та розраховано значення швидкості та прискорення в залежності від часу кінця захвату струшувача, а також побудовано відповідні графіки, для зерняткових та кісточкових плодів.

7. Для запропонованого струшувача з електричним приводом швидкість та прискорення кінця захвату при взаємодії з гілкою для кісточкових плодів відповідно, буде становити: 0,77 м/с і 42,3 м/с²; а для зерняткових: 0,962 м/с і 52,9 м/с².

8. Розглянуто методику моделювання процесів виникнення травмо-небезпечних або аварійних ситуацій. Здійснено моделювання процесу виникнення травматичної ситуації і виконано оцінку рівня небезпеки під час операції знімання плодів струшувачем із електроприводом. Також проаналізовано вплив операції струшування плодів струшувачем із електроприводом на навколишнє середовище.

9. Економічні розрахунки показали, що річний економічний ефект від впровадження ручного струшувача плодів із електричним приводом для збирання яблук складає 56012 гривень (в цінах на 01.09.2023 р.) за умови річного навантаження 1302 дерева.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бабій П. Т. Механізація виробництва плодів і ягід. 2-е вид., допов. і перероб. Київ: Урожай, 1980. 160 с.
2. Міністерство аграрної політики та продовольства України "Стратегія розвитку агропромислового комплексу" Опубл. 03.07.2023 року <https://minagro.gov.ua/investoram/strategiya-rozvitku-agropromislovogo-kompleksu>
3. Ефективні технології механізованого збирання врожаю у садівництві Механізація АПК, 15.01.2011. URL: <https://vseosvita.ua/lesson/zbyrannia-plodiv-plodovo-iahidnykh-kultur-362577.html>.
4. Варламов Г. П. Машины для збирання фруктів. К: Урожай, 1990. 216 с.
5. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
6. Довідник з механізації садівництва / М. О. Демидко, А. Є Бабенко, В. П. Бабій та ін.; за заг. ред. М. О. Демидка. Київ: Урожай, 1988. 233 с.
7. Крупич Р. О., Шевчук Р. С., Крупич О. М. Методика вибору способу збирання плодів. *Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій: матеріали міжнар. наук.-практ. форуму (Дубляни, 18-21 вересня 2012 р.)*. Львів: ПП „Арал“, 2012. С. 4 – 15.
8. Хайлис Г. А., Ковалев М. М. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных. Москва: Колос, 1994. 169 с.
9. Хайліс Г. А., Гошко З. О., Шевчук Р. С. Визначення закономірностей коливання штамба дерева під дією віброструшувального

механізму. *Сільськогосподарські машини*: зб. наук. ст. Волинського обласного відділення ІАУ, вип.1. Луцьк. 1995. С.21–38.

10. Хайліс Г. А., Коновалюк Д. М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: навч. посіб. Київ: НМК ВО, 1992. 320 с.

11. Шевчук Р. С., Крупич Р. О. Ручной виброударный стряхиватель плодов. *MOTROL: comission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin, 2015. Vol. 17, No. 4. P. 101 – 107.

12. Шевчук Р. С., Крупич Р. О. Ручний віброударний струшувач плодів. *Збірник наукових статей. Сільськогосподарські машини*. Луцьк, 2011. Вип. 21 Том II. С. 238–243.

13. Іванченко В.А., Тавасієв Р.М. Фізико-механічні властивості плодів гілки Молоді вчені. Мелітополь, 2001. Вид. 2. С.104-109.

14. Іванченко В.А. Співвідношення маси плодів до маси гілок / Молоді вчені. Мелітополь, 2000. Вид. 1. С. 236-239.

15. Тавасієв Р.М., Іванченко В.А. Плодозбиральна установка для селянських господарств // *Техніка АПК*. 1996. №8. С. 12-14.

16. Житецький В. Ц., Джигерей В.С. Основи охорони праці. Підручник. Вид. 5-те, доп. Львів: Афіша, 2000. 350с.

17. Shaker SC800. Cifarelli SpA. URL: https://www.cifarelli.it/documenti/SC800_SP-ING.pdf (Last accessed: 30.03.2023).

18. Cifarelli Spa manufacturing professional machines in Italy. URL: <https://www.cifarelli.it/index.php/GMenuProducts?l=2&main=11> (Last accessed: 30.03.2023).

19. Кудрявець Р.П. Нові високопродуктивні форми плодівих дерев. К.: Урожай, 1994. 80 с.

20. Попов Б.А. Сади на карликових підщепах. К.: Наук. думка, 1998. 207 с.

21. Трусевич Г. В. Інтенсивне садівництво. К.: Наук. думка, 1999. 204 с.
19. Васюта В.М. Довідник садового: довідкове видання / В. М. Васюта, Г. М. Рибак, С. В. Клименко. Київ : Наук. думка, 1990. 348 с.
20. Омельченко І.К. Культура яблуні в Україні. К.: Урожай, 2005. 304 с.
21. Плодівництво. Куян В.Г., К.: Урожай, 2009 р., 480 с.
22. Лахман С. Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ : Урожай, 1993. 272с.
23. ДСТУ 3-37-4-94 Трактори та машини сільськогосподарські. Методи економічної оцінки. [Чинний від 1995-07-01]. URL: <http://www.leonorm.com.ua/Default.php?Page=stlist&ObjId=895&CatId=4> (дата звернення: 10.04.2023).
24. Данильченко М. Г., Гладич Б. Б., Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки: Навчально-методичний посібник для студентів економічних спеціальностей. Тернопіль: Економічна думка, 2001. 61 с. URL: <http://dspace.tneu.edu.ua/bitstream/316497/477/1/expert.pdf> (дата звернення: 10.04.2023).
25. Шевчук Р. С., Крупич О. М. Економічна оцінка спеціалізованої сільськогосподарської техніки: методичні рекомендації Львівського ДСГП. Львів: Львівський ДСГП, 1994. 27 с.
26. Разработка и создание плодуборочной установки (отчет)/ Отчет о ЕИОКР, гос. регист. № 0120. 0507518/. Москва: ВНИИЦ, 2006. 170 с.
27. Іванченко В.А., Цебоїв Е.А. Дослідження взаємодії завхватів струшувача з плодовою гілкою. / К.: «Наукова думка», 2005. Вид. 3. с. 141-144.
28. Вища математика: Підручник / Домбровський В.А., Крижанівський І.М., Мацьків Р.С.; за редакцією Шинкарика М.І. Тернопіль: Видавництво Карп'юка, 2003. 480 с.
29. Павловський М.А. Теоретична механіка. К.: Техніка. 2002. 510 с.