МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Підручний Микола Віталійович

УДК 631.563:635.11:631.362

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ СТОЛОВИХ БУРЯКІВ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ КОНСТРУКЦІЇ ГІРАЦІНОГО ГРОХОТА

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Підручний М.В.

Керівник роботи

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Підручний Микола Віталійович. Удосконалення технологічного процесу зберігання столових буряків з модернізацією конструкції гіраціного грохота. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу зберігання столових буряків із модернізацією конструкції гіраційного грохота. Обґрунтовано актуальність теми, яка пов’язана з необхідністю зменшення втрат коренеплодів, підвищення якості їх післязбиральної обробки та забезпечення належних умов тривалого зберігання. Проаналізовано основні фактори, що впливають на лежкість столових буряків, зокрема механічні пошкодження, засміченість вороху, температурно-вологісний режим і якість сортування. Розглянуто технологічну схему післязбиральної доробки коренеплодів, яка включає приймання, транспортування, очищення, сортування та закладання продукції на зберігання. Особливу увагу приділено процесу очищення столових буряків від ґрунтових домішок, оскільки ця операція суттєво впливає на подальшу збереженість продукції. Запропоновано модернізацію гіраційного грохота, спрямовану на підвищення ефективності сепарації домішок і зниження рівня травмування коренеплодів. Виконано конструктивні, технологічні та техніко-економічні розрахунки, які підтверджують доцільність прийнятих проектних рішень. Результати роботи можуть бути використані в сільськогосподарських підприємствах, овочесховищах і пунктах післязбиральної доробки коренеплодів.

Ключові слова: столові буряки, зберігання, післязбиральна обробка, гіраційний грохот, очищення коренеплодів, технологічний процес.

ANNOTATION

Mykola Vitaliyovych Pidruchny. Improvements to the technological process for storing table beetroot through the modernisation of the design of the vibrating screen. *– Qualification work on the rights of the manuscript*.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This qualification thesis examines ways of improving the storage process for table beetroot through the modernisation of the gyratory screen design. The relevance of the topic is justified by the need to reduce root crop losses, improve the quality of post-harvest handling and ensure appropriate conditions for long-term storage. The main factors affecting the storability of table beetroot are analysed, in particular mechanical damage, contamination of the pile, temperature and humidity conditions, and the quality of sorting. The technological flowchart for the post-harvest processing of root crops is examined, which includes reception, transport, cleaning, sorting and placing the produce into storage. Particular attention is paid to the process of cleaning table beetroot of soil impurities, as this operation significantly affects the subsequent preservation of the produce. A modernisation of the vibrating screen is proposed, aimed at improving the efficiency of impurity separation and reducing damage to the root crops. Design, technological and technical-economic calculations have been carried out, confirming the feasibility of the design solutions adopted. The results of this work can be utilised in agricultural enterprises, vegetable storage facilities and post-harvest processing centres for root crops.

Keywords: table beetroot, storage, post-harvest processing, gyratory screen, root crop cleaning, technological process.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗБЕРІГАННЯ СТОЛОВИХ БУРЯКІВ……..……8
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ СТОЛОВИХ БУРЯКІВ……...….16
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГІРАЦІЙНОГО ГРОХОТА ДЛЯ ПІДГОТОВКИ СТОЛОВИХ БУРЯКІВ ДО ЗБЕРІГАННЯ……..…27
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ……..……40
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…….……..46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….……48

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Столові буряки є однією з важливих овочевих культур, що широко використовується у харчуванні населення, переробній промисловості та закладах громадського харчування. Вони мають високу харчову цінність, містять цукри, органічні кислоти, мінеральні речовини, вітаміни та біологічно активні сполуки, що зумовлює стабільний попит на цю продукцію протягом усього року. Однак забезпечення споживачів якісними столовими буряками у міжсезонний період значною мірою залежить від правильного проведення післязбиральної доробки та організації процесу зберігання.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в тому, що під час збирання, транспортування, очищення, сортування та закладання столових буряків на зберігання виникають значні втрати продукції. Основними причинами таких втрат є механічне пошкодження коренеплодів, наявність ґрунтових домішок, потрапляння некондиційної продукції до загальної маси, порушення температурно-вологісного режиму та недостатня якість роботи обладнання для післязбиральної обробки. Пошкоджені й забруднені коренеплоди мають нижчу лежкість, швидше уражуються хворобами, втрачають масу та товарні властивості. Тому підвищення ефективності технологічного процесу підготовки буряків до зберігання є важливим завданням для сільськогосподарських підприємств та овочесховищ.

Одним із важливих етапів післязбиральної доробки столових буряків є очищення коренеплодів від ґрунтових домішок, рослинних решток і дрібних включень. Для виконання цієї операції можуть застосовуватися різні типи сепарувального обладнання, серед яких перспективним є гіраційний грохот. Його робота ґрунтується на коливальному русі решітної поверхні, що забезпечує переміщення вороху коренеплодів і відокремлення домішок. Разом з тим існуючі конструкції потребують удосконалення з метою

зменшення травмування продукції, підвищення рівномірності очищення, стабілізації роботи технологічної лінії та зниження експлуатаційних витрат.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення технологічного процесу зберігання столових буряків шляхом модернізації конструкції гіраційного грохота, що забезпечує покращення якості післязбиральної обробки коренеплодів, зменшення втрат продукції та підвищення ефективності її подальшого зберігання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– проаналізувати сучасний стан питання зберігання столових буряків та визначити основні фактори, що впливають на їх лежкість;

– розглянути технологічні операції післязбиральної доробки коренеплодів перед закладанням на зберігання;

– обґрунтувати технологічну схему підготовки столових буряків до зберігання;

– визначити роль операції очищення у загальному технологічному процесі;

– проаналізувати роботу гіраційного грохота та обґрунтувати напрями його модернізації;

– виконати конструктивні та технологічні розрахунки основних параметрів модернізованого вузла;

– провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих проектних рішень.

Об’єктом дослідження є технологічний процес післязбиральної обробки та зберігання столових буряків.

Предметом дослідження є конструктивно-технологічні параметри гіраційного грохота, що впливають на якість очищення коренеплодів, рівень їх механічного пошкодження та ефективність підготовки продукції до зберігання.

У роботі використано аналітичні, розрахункові та порівняльні методи дослідження. Під час виконання роботи проаналізовано науково-технічну

літературу, нормативні джерела, технологічні схеми післязбиральної доробки коренеплодів, конструкції машин для очищення та сортування овочевої продукції. Розрахункова частина ґрунтується на визначенні основних технологічних, кінематичних, конструктивних та економічних показників модернізованого гіраційного грохота.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В., Павлюк В., Підручний М. Застосування робототехнічних засобів в рослинництві. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 22–23 квітня 2026 року. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2026.С.103-106

2. Савченко В.М., Підручний М.В., Герасимчук Д.В. Особливості вирощування столових буряків за різних способів основного обробітку ґрунту. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 165-166.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих рішень у сільськогосподарських підприємствах, овочесховищах та пунктах післязбиральної доробки коренеплодів. Модернізація гіраційного грохота дає змогу підвищити якість очищення столових буряків, зменшити кількість домішок у продукції, знизити рівень механічного травмування та створити кращі передумови для тривалого зберігання коренеплодів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновку та списку використаних джерел з 33 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 51 сторінка комп’ютерного тексту, містить 17 рисунків, 18 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗБЕРІГАННЯ СТОЛОВИХ БУРЯКІВ

1.1 Господарське значення столових буряків та вимоги до їх якості

Столові буряки є однією з поширених овочевих культур, що використовується для споживання у свіжому вигляді, переробки та тривалого зимово-весняного забезпечення населення овочевою продукцією. Цінність культури визначається високим вмістом сухих речовин, цукрів, мінеральних сполук, барвників і харчових волокон. Для аграрного підприємства буряк має значення не лише як товарна продукція, а й як культура, що потребує правильно організованого післязбирального дороблення і зберігання.

Технологічний процес зберігання коренеплодів не можна розглядати окремо від операцій приймання, очищення, сортування та транспортування. Навіть за сприятливих температурно-вологісних умов партія з великою кількістю землі, рослинних решток або травмованих коренеплодів швидко втрачає товарну якість. Тому головним завданням підготовки столових буряків до зберігання є формування однорідної, очищеної та механічно неушкодженої маси.

Якісні коренеплоди повинні бути цілими, достатньо вирівняними за розмірами, без ознак в’янення, підморожування, гнилей, глибоких тріщин і значних механічних пошкоджень. Особливе значення має стан покривної тканини, оскільки вона виконує захисну функцію і зменшує втрати вологи. Порушення шкірки під час збирання, очищення або перевантаження створює умови для інтенсивнішого дихання, розвитку мікроорганізмів і збільшення природних втрат.

Таблиця 1.1 – Основні показники якості столових буряків, важливі для зберігання

Показник	Бажаний стан	Вплив на зберігання
Цілісність коренеплодів	Без тріщин, зрізів і забоїн	Зменшує ризик загнивання та вторинного зараження

Продовження таблиці 1.1.

Забрудненість ґрунтом	Мінімальна кількість налиплого ґрунту	Поліпшує вентиляцію і зменшує мікробне навантаження
Вирівняність за розміром	Середня та близька фракція	Сприяє рівномірному охолодженню і провітрюванню
Стан гички	Обрізана без пошкодження головки	Зменшує випаровування вологи та проростання
Наявність хвороб	Відсутність мокрих і сухих гнилей	Запобігає поширенню інфекції в масі продукції

1.2 Біологічні та фізико-механічні властивості коренеплодів

Столовий буряк після збирання залишається живим біологічним об’єктом. У коренеплодах продовжуються процеси дихання, випаровування вологи та повільні біохімічні зміни. Інтенсивність цих процесів залежить від температури, вологості повітря, механічного стану тканин, ступеня стиглості та наявності домішок. Надлишкова температура прискорює дихання, а низька вологість викликає в’янення і втрату маси.

Фізико-механічні властивості столових буряків визначають вибір робочих органів машин для післязбиральної доробки. Коренеплоди мають округлу або округло-плоску форму, порівняно щільну м’якоть і тонку шкірку, яка легко пошкоджується під час ударів об тверді поверхні. Саме тому обладнання для очищення і сортування повинно забезпечувати м’який режим переміщення продукції, мінімальну висоту падіння та відсутність різких ударних навантажень.

Пошкодження, що виникають у процесі механізованого збирання та транспортування, поділяють на поверхневі подряпини, забої, надломи хвостової частини, тріщини та зрізи. Наявність навіть незначної кількості травмованих коренеплодів негативно впливає на збереженість усієї партії, оскільки пошкоджені тканини швидше втрачають воду і стають осередками розвитку гнилей.

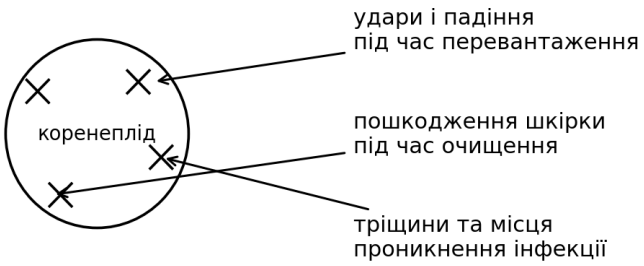


Рис. 1.1. Типові зони механічного пошкодження столового буряка під час післязбиральних операцій

1.3 Аналіз сучасних способів зберігання столових буряків

У практиці овочівництва застосовують кілька способів зберігання столових буряків: у буртах і кагатах, у підвалах або стаціонарних овочесховищах, у контейнерах, а також у сховищах з активною вентиляцією та регульованим мікрокліматом. Вибір способу залежить від обсягів продукції, тривалості зберігання, наявності приміщень, рівня механізації та економічних можливостей господарства.

Найпростішим способом є зберігання в кагатах або буртах. Він потребує менших капітальних витрат, але має обмежені можливості контролю температури та вологості. Для невеликих партій може використовуватися підвальне або траншейне зберігання. Для товарного виробництва більш доцільними є сховища з активною вентиляцією, де можна швидко охолодити продукцію, вирівняти температуру в масі коренеплодів і зменшити локальні осередки перегрівання.

Оптимальними для тривалого зберігання вважають температуру близько 0…+2 °C і високу відносну вологість повітря. За таких умов зменшуються інтенсивність дихання, втрата тургору і розвиток гнильних процесів. Водночас надмірне зволоження без достатнього повітрообміну небажане, оскільки воно сприяє конденсації вологи і розвитку плісняви.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика способів зберігання столових буряків

Спосіб	Переваги	Недоліки	Доцільність застосування
Кагати та бурти	Низькі витрати, простота закладання	Складний контроль температури, залежність від погоди	Тимчасове або сезонне зберігання
Підвали, траншеї	Придатні для малих партій	Низький рівень механізації	Фермерські та присадибні обсяги
Контейнери у сховищі	Зручне сортування партій, менше травмування	Потрібна тара та навантажувачі	Середні й великі партії
Сховище з активною вентиляцією	Керований мікроклімат, рівномірне охолодження	Вищі капітальні та енергетичні витрати	Тривале товарне зберігання

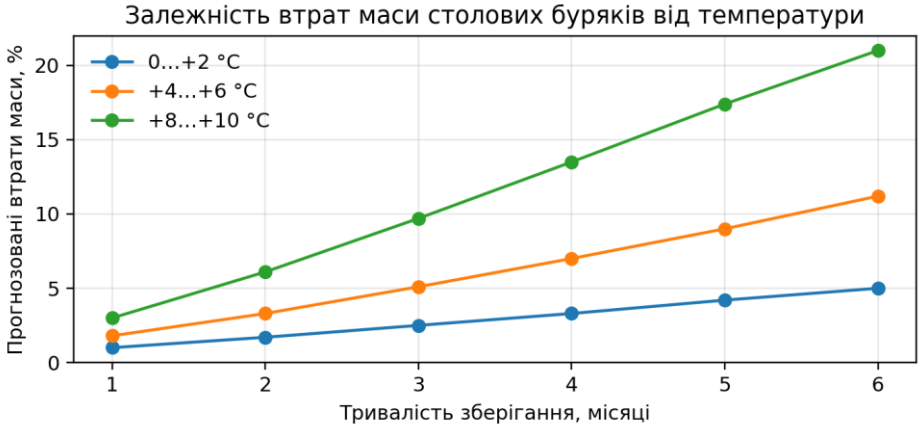


Рис. 1.2. Орієнтовний вплив температурного режиму на втрати маси коренеплодів під час зберігання

1.4 Особливості післязбиральної доробки перед закладанням на зберігання

Післязбиральна доробка є проміжною ланкою між збиранням і зберіганням. Вона включає приймання вороху, видалення ґрунтових і рослинних домішок, відокремлення пошкоджених, хворих і нестандартних коренеплодів, а також транспортування кондиційної продукції до місця закладання. Якість виконання цих операцій значною мірою визначає тривалість зберігання і величину втрат.

Наявність налиплого ґрунту у воросі погіршує проходження повітря крізь масу коренеплодів. Ґрунт утримує вологу, підвищує мікробне навантаження і створює локальні зони ущільнення. Тому попереднє очищення є обов’язковою операцією для партій, які планується зберігати тривалий час. Разом з тим надмірно інтенсивне очищення може пошкоджувати покривну тканину, тому робочі органи машин повинні діяти переважно за рахунок просіювання, легкого переміщення та розрихлення шару.

Доцільна технологічна схема підготовки столових буряків перед зберіганням показана на рисунку 1.3. Її центральною операцією є очищення та сепарація, оскільки саме на цьому етапі з партії видаляється значна частина ґрунтових домішок, а коренеплоди набувають стану, придатного для подальшого сортування і закладання.

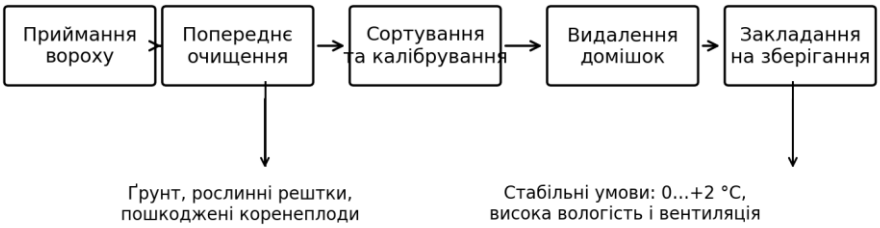


Рис. 1.3. Узагальнена схема технологічного процесу підготовки столових буряків до зберігання.

1.5 Аналіз машин і обладнання для очищення та сортування столових буряків

Для післязбиральної обробки коренеплодів використовують приймальні бункери, завантажувальні та вивантажувальні транспортери, очисні столи, роликові очисники, барабанні мийні машини, сортувальні столи, калібрувальні пристрої та грохоти. У складі потокової лінії кожна машина повинна працювати узгоджено з іншими елементами, забезпечуючи

безперервне переміщення продукції без накопичення, падіння з великої висоти та забивання робочих органів.

Роликові та щіткові очисники добре відокремлюють сухий ґрунт і рослинні рештки, але за неправильного регулювання можуть інтенсивно терти поверхню коренеплодів. Барабанні машини забезпечують ефективне миття, однак перед тривалим зберіганням їх застосування потребує обережності, адже на поверхні продукції не повинна залишатися вільна вода. Сортувальні столи дозволяють видаляти дефектні коренеплоди вручну, але продуктивність такого процесу залежить від кількості робітників і рівномірності подачі.

Гіраційні грохоти є перспективними для попереднього очищення вороху столових буряків, оскільки здійснюють коливальний рух решітної поверхні та забезпечують розпушення шару матеріалу. За правильно підібраної амплітуди, частоти коливань і кута нахилу робочої поверхні можна досягти виділення дрібних ґрунтових домішок без надмірного ударного впливу на коренеплоди. Це особливо важливо для продукції, що закладається на тривале зберігання.

Таблиця 1.3 – Оцінка обладнання для післязбиральної доробки столових буряків

Обладнання	Основне призначення	Переваги	Обмеження
Приймальний бункер	Рівномірна подача вороху	Компенсує нерівномірність транспорту	Можливе ущільнення маси
Транспортер	Переміщення коренеплодів	Простота та надійність	Потрібне обмеження висоти падіння
Роликовий очисник	Видалення ґрунту	Добре працює з сухими домішками	Може травмувати шкірку
Сортувальний стіл	Відбір некондиційних коренеплодів	Висока точність ручного контролю	Залежить від праці робітників
Гіраційний грохот	Сепарація дрібних домішок	М’який коливальний режим і добра продуктивність	Потребує правильного розрахунку параметрів

1.6 Обґрунтування необхідності удосконалення технологічного процесу

Аналіз технології зберігання столових буряків показує, що основні втрати виникають не лише безпосередньо у сховищі, а ще на етапі підготовки продукції. Механічні пошкодження, залишки ґрунту, нерівномірний розмірний склад і наявність хворих коренеплодів погіршують умови зберігання всієї партії. Тому підвищення ефективності процесу доцільно здійснювати через удосконалення лінії післязбиральної доробки.

Найбільш важливим напрямом удосконалення є модернізація обладнання для очищення та сепарації. Робочий орган повинен забезпечувати достатню інтенсивність відокремлення домішок, але не створювати ударів і стирання, які призводять до пошкодження шкірки. З цієї позиції модернізація конструкції гіраційного грохота є обґрунтованою, оскільки дозволяє поєднати транспортну, розпушувальну і сепарувальну дію в одному вузлі.

На рисунку 1.4 наведено орієнтовну оцінку впливу окремих операцій на зниження втрат під час зберігання. Дані мають узагальнений характер, однак показують, що найбільше значення мають контроль температури, якісне очищення, вентиляція та вилучення пошкоджених коренеплодів. Отже, технічне вдосконалення грохота має розглядатися як частина загальної системи підвищення збереженості продукції.

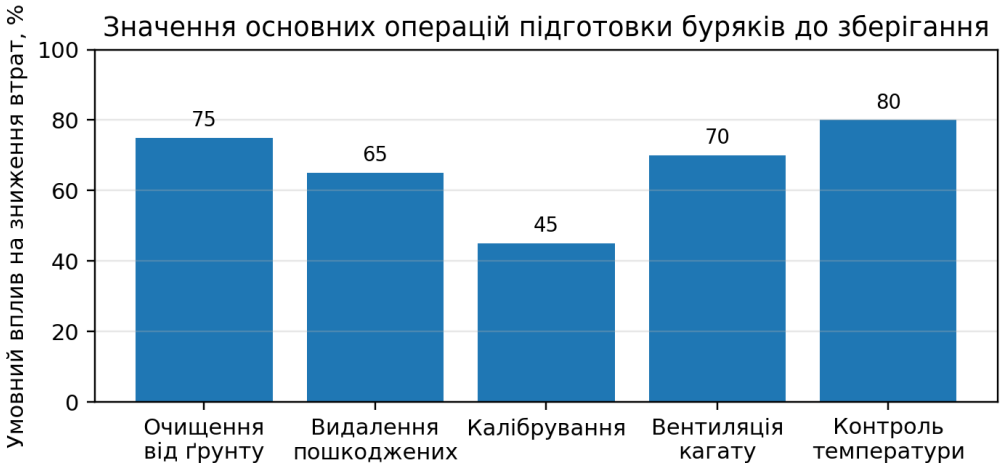


Рис. 1.4. Орієнтовний вплив технологічних операцій на зменшення втрат під час зберігання.



Рис. 1.5. Узагальнена структура причин втрат столових буряків під час зберігання.

Висновки по розділу

Столові буряки є продукцією, якість якої під час зберігання значною мірою залежить від стану коренеплодів після збирання та рівня організації післязбиральної доробки. Основними чинниками втрат є механічні пошкодження, забруднення ґрунтом, розвиток гнилей, втрата вологи та порушення температурно-вологісного режиму. Найкращі умови для тривалого зберігання забезпечуються за низької позитивної температури, високої відносної вологості та керованого повітрообміну. Удосконалення технологічного процесу доцільно спрямувати на підвищення якості очищення і сепарації коренеплодів перед закладанням у сховище. Модернізація конструкції гіраційного грохота є технічно обґрунтованою, оскільки цей робочий орган може забезпечити видалення домішок за відносно м’якого впливу на продукцію.

РОЗДІЛ 2
ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ СТОЛОВИХ БУРЯКІВ

2.1 Загальна характеристика технологічного процесу підготовки столових буряків до зберігання

Післязбиральна обробка столових буряків є проміжною ланкою між збиранням урожаю і його тривалим зберіганням. Саме на цьому етапі формується якість партії, що надалі закладається у сховище. Якщо коренеплоди надходять у сховище із значною кількістю ґрунтових домішок, рослинних решток, пошкоджених або хворих екземплярів, то навіть правильно підібраний температурно-вологісний режим не забезпечує високої збереженості продукції.

Столові буряки мають соковиту тканину і відносно тонкий покривний шар, тому вони чутливі до ударів, стирання, пересушування та самозігрівання. Пошкодження шкірки збільшує інтенсивність дихання, сприяє втраті вологи і створює умови для розвитку гнилей. Тому технологія підготовки повинна поєднувати достатню якість очищення з м’якою дією на коренеплоди.

Технологічний процес підготовки столових буряків до зберігання доцільно будувати за принципом безперервного потоку: приймання продукції, дозування, очищення, сортування, транспортування, закладання і контроль умов зберігання. Для тривалого зберігання рекомендовано підтримувати низьку додатну температуру близько 0...2 °С та високу відносну вологість повітря, що зменшує втрату маси і сповільнює розвиток мікроорганізмів.

Таблиця 2.1 – Вимоги до процесу підготовки буряків до зберігання

Вимога	Технологічне значення	Спосіб забезпечення
Мінімальне травмування	Зменшення втрат маси і ризику загнивання	Плавна подача, малі висоти падіння, еластичні накладки

Продовження таблиці 2.1

Видалення домішок	Покращення вентиляції насипу	Очищення на гіраційному грохоті
Відбір некондиції	Недопущення зараження здорової продукції	Сортувальний стіл і контроль якості
Рівномірність потоку	Стабільна робота без перевантажень	Приймальний бункер і регульовані транспортери
Підтримання режиму	Збереження товарності продукції	Охолодження, вентиляція, контроль температури і вологості



Рис. 2.1. Технологічна схема підготовки столових буряків до зберігання.

2.2 Обґрунтування технологічної схеми післязбиральної доробки коренеплодів

Для удосконалення процесу пропонується технологічна схема, у якій гіраційний грохот установлюється після приймально-завантажувального вузла і перед сортувальним столом. Така компоновка дозволяє видаляти основну частину дрібних домішок до ручного або механізованого сортування. У результаті на сортувальний стіл надходить чистіший і рівномірніший потік, а працівники витрачають менше часу на відділення ґрунту та рослинних решток.

Приймальний бункер виконує роль буферної ємності, яка компенсує нерівномірність надходження транспортних засобів. Завантажувальний транспортер подає буряки на грохот із заданою швидкістю. На гіраційному грохоті коренеплоди переміщуються по решету, а ґрунтові домішки відводяться окремим транспортером. Після цього товарна фракція проходить контроль якості та спрямовується до сховища.

Перевагою запропонованої схеми є зменшення кількості зайвого матеріалу, що переміщується лінією, а також скорочення ризику закладання у сховище забруднених і пошкоджених коренеплодів. Крім того, очищення перед сортуванням підвищує продуктивність контролю, оскільки дефекти коренеплодів краще помітні на чистій поверхні.

Таблиця 2.2 – Порівняння базової та удосконаленої схеми

Показник	Базова схема	Схема з гіраційним грохотом
Стан потоку перед сортуванням	Значна засміченість, нерівномірний шар	Очищений і вирівняний шар продукту
Навантаження на сортування	Підвищене	Зменшене за рахунок попереднього очищення
Ризик пошкодження	Зростає при перевантаженні лінії	Зменшується при м’якому режимі коливань
Якість закладання	Нестабільна	Стабільніша та контрольована
Можливість механізації	Обмежена	Вища, оскільки потік розділяється на фракції

2.3 Визначення основних операцій технологічного процесу

Технологічний процес включає такі основні операції: приймання, дозування, очищення, сортування, транспортування і закладання у сховище. Приймання забезпечує завантаження буряків із транспортних засобів і накопичення короткочасного запасу. Дозування формує рівномірний шар продукту. Очищення на грохоті призначене для відокремлення ґрунту, грудок і дрібних рослинних решток. Сортування дозволяє вилучити пошкоджені, загнилі, підморожені та нестандартні коренеплоди.

Під час проектування лінії необхідно узгодити продуктивність усіх вузлів. Якщо один елемент має меншу пропускну здатність, він стає «вузьким місцем» усього процесу. Особливу увагу слід приділяти місцям переходу між транспортерами, оскільки саме там найчастіше виникають удари і пошкодження шкірки. Для зменшення травмування потрібно обмежувати висоту перепадів, застосовувати напрямні та еластичні накладки.

На рисунку 2.2 показано орієнтовний вплив окремих операцій на загальну збереженість продукції. Найбільше значення мають очищення від

ґрунту і відбір пошкоджених коренеплодів, оскільки саме ці чинники визначають санітарний стан партії у перші тижні зберігання.

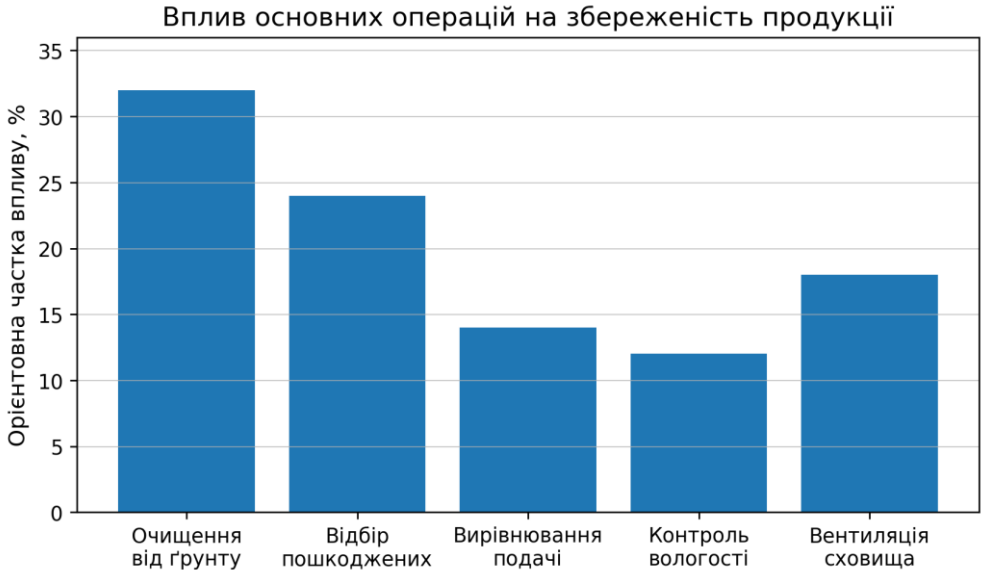


Рис. 2.2. Вплив основних операцій на збереженість продукції.

Таблиця 2.3 – Характеристика операцій післязбиральної обробки

Операція	Призначення	Контрольні параметри
Приймання	Завантаження партії і вирівнювання надходження	Місткість бункера, висота падіння, швидкість рухомого дна
Дозування	Формування стабільного шару продукту	Швидкість транспортера, відкриття заслінки
Очищення	Видалення ґрунту та дрібних домішок	Частота коливань, амплітуда, кут нахилу решета
Сортування	Вилучення дефектних коренеплодів	Швидкість полотна, кількість робочих місць, освітлення
Транспортування	Подача товарної фракції у сховище	Швидкість стрічки, висота перепадів, заповнення стрічки
Зберігання	Підтримання якості продукції	Температура, вологість, вентиляція, санітарний контроль

2.4 Розрахунок обсягів надходження та закладання столових буряків на зберігання

Для технологічного обґрунтування приймаємо, що площа вирощування столових буряків становить 20 га, а середня урожайність – 25 т/га. Тоді валовий збір дорівнює:

$$M_в = F \cdot У = 20 \cdot 25 = 500 \text{ т}, \qquad (2.1)$$

де $М_в$ – валовий збір коренеплодів, т; F – площа вирощування, га; У – урожайність, т/га. Після надходження з поля партія містить ґрунтові домішки та некондиційні коренеплоди. Для розрахунку приймаємо засміченість 7 %, частку некондиційної продукції 3 % і технологічні втрати 0,5 %. Маса товарної продукції для закладання становить:

$$М_з = Мв \cdot (1 – k_д – k_н – k_т) = 500 \cdot (1 – 0,07 – 0,03 – 0,005) = 447,5 \text{ т}. \quad (2.2)$$



Рис. 2.3. Розподіл маси урожаю після доробки.

Таблиця 2.4 – Розрахунковий баланс маси столових буряків.

Показник	Позначення	Значення	Примітка
Площа вирощування	F	20 га	Прийнято для розрахунку
Урожайність	У	25 т/га	Прийнято для розрахунку
Валовий збір	$М_в$	500 т	F · У
Ґрунтові домішки	$М_д$	35 т	7 % від валового збору
Некондиційні коренеплоди	$М_н$	15 т	3 % від валового збору
Технологічні втрати	$М_т$	2,5 т	0,5 % від валового збору
Маса для зберігання	$М_з$	447,5 т	Після очищення і сортування

За насипної густини буряків ρн = 0,65 т/м³ потрібний корисний об’єм становить V = 447,5 / 0,65 = 688,5 м³. Якщо коефіцієнт використання місткості сховища прийняти 0,85, то геометричний об’єм сховища має бути близько 810 м³. За висоти шару 2,5 м розрахункова площа зберігання становить приблизно 324 м² без урахування проходів і зон обслуговування.

2.5 Обґрунтування параметрів роботи лінії очищення і сортування

Продуктивність лінії повинна забезпечувати своєчасну підготовку урожаю у період масового надходження. Затримка з доробкою небажана, оскільки забруднені й пошкоджені буряки швидше нагріваються у навалі та втрачають товарні властивості. Потрібну продуктивність визначаємо за залежністю:

$$Q_п = M_в / (D \cdot T_{зм} \cdot k_ч), \quad (2.3)$$

де D – кількість діб роботи, Тзм – тривалість зміни, kч – коефіцієнт використання змінного часу. Для продуктивності 6 т/год, зміни 8 год і kч = 0,85 добовий обсяг обробки становить 40,8 т. Отже, 500 т буряків можна підготувати приблизно за 12...13 робочих змін.

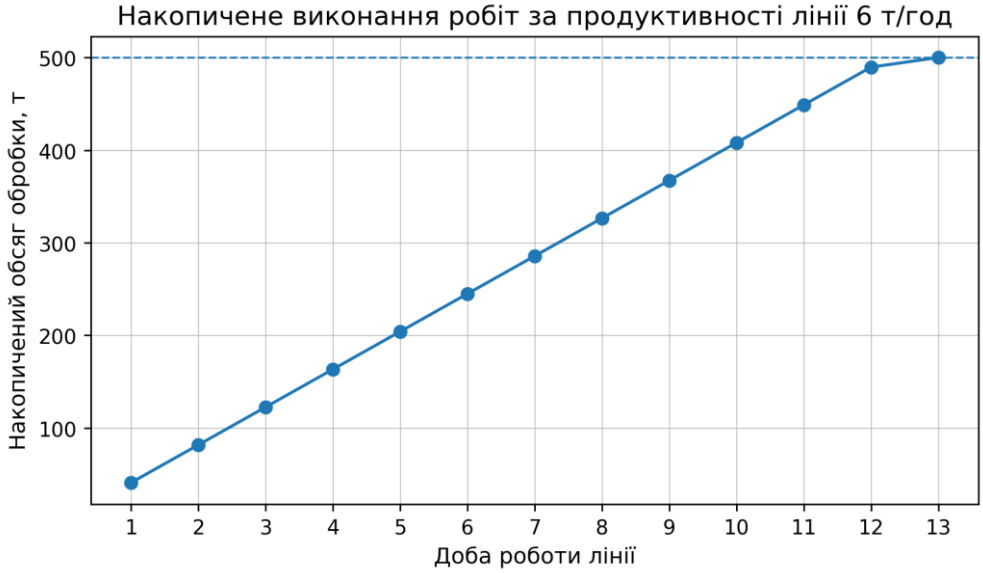


Рис. 2.4. Накопичене виконання робіт за продуктивності лінії 6 т/год

Таблиця 2.5 – Технологічні параметри лінії підготовки буряків

Параметр	Значення	Обґрунтування
Продуктивність лінії	6 т/год	Достатньо для обробки 500 т за 12...13 змін
Тривалість зміни	8 год	Звичайна організація роботи приймального пункту
Коефіцієнт використання часу	0,85	Враховує зупинки та регулювання
Швидкість транспортерів	0,4...0,8 м/с	М’яке переміщення без забивання
Кут нахилу решета грохота	8...12°	Компроміс між продуктивністю і якістю очищення
Висота перепаду між вузлами	бажано до 0,3 м	Зменшення ударних навантажень

2.6 Вибір машин та обладнання для реалізації удосконаленого технологічного процесу

Комплект машин повинен забезпечувати безперервну роботу лінії і не створювати умов для пошкодження коренеплодів. Приймальний бункер доцільно виконувати з рухомим дном або дозувальним транспортером. Завантажувальний транспортер має мати борти і, за потреби, поперечні планки. Гіраційний грохот розміщується як основний очисний вузол, під яким установлюється транспортер домішок. Після грохота встановлюється перебиральний стіл, а товарна фракція подається у сховище виносним транспортером.

Порівняння варіантів очисних робочих органів показує, що гіраційний грохот є доцільним для роботи з коренеплодами, оскільки поєднує сепарацію домішок і транспортування продукту. При правильному виборі частоти, амплітуди та кута нахилу він забезпечує достатню якість очищення без надмірного ударного впливу.

Таблиця 2.6 – Комплект обладнання удосконаленої лінії

Вузол лінії	Функція	Основні вимоги
Приймальний бункер	Приймання продукції з транспорту	Достатня місткість, низька висота падіння
Завантажувальний транспортер	Подача буряків на очисний вузол	Регулювання швидкості, борти, еластичне полотно
Гіраційний грохот	Відокремлення ґрунту і дрібних домішок	Регулювання режиму коливань і кута нахилу
Транспортер домішок	Відведення ґрунту та решток	Розташування під решетом, захист від забивання
Перебиральний стіл	Візуальний контроль якості	Зручна ширина, освітлення, робочі місця
Виносний транспортер	Подача у сховище	Мінімальні перепади, узгоджена продуктивність

2.7 Обґрунтування режимів закладання і зберігання столових буряків

Після очищення і сортування буряки необхідно закладати у сховище однорідними партіями. Не слід змішувати здорову продукцію з коренеплодами, які мають ознаки підморожування, загнивання або значного

механічного травмування. Перед закладанням потрібно контролювати температуру продукції, оскільки теплі коренеплоди у щільному насипі можуть самозігріватися.

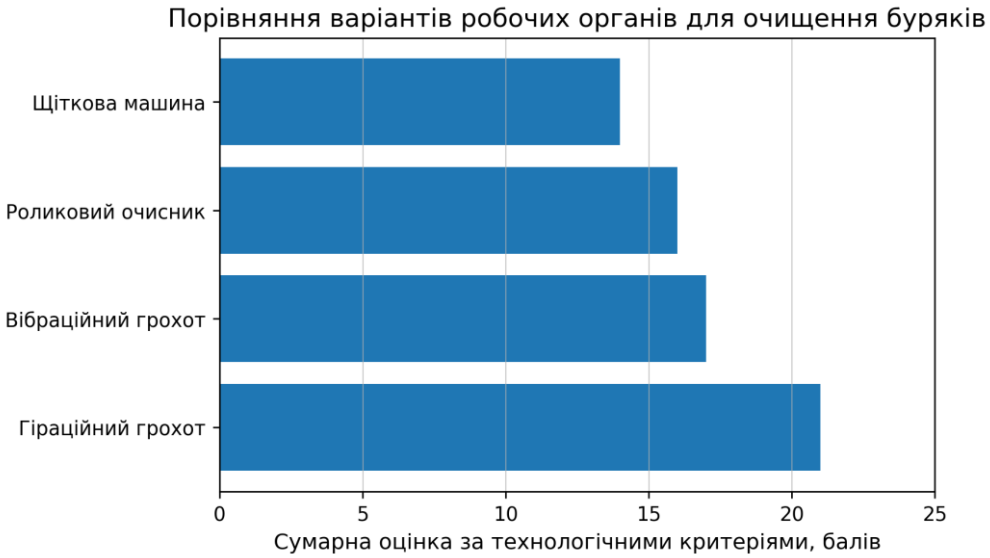


Рис. 2.5. Порівняння робочих органів для очищення столових буряків.

Режим зберігання повинен забезпечувати сповільнення дихання коренеплодів і зменшення втрат вологи. Для цього підтримують температуру близько 0...2 °C і відносну вологість 95...100 %. У період охолодження використовується активніша вентиляція, а після стабілізації температури подачу повітря зменшують. Для маси 447,5 т за питомої подачі 80 м³/(год·т) розрахункова подача повітря під час охолодження становить L = 80 · 447,5 = 35800 м³/год.

Таблиця 2.7 – Рекомендовані режими зберігання і контролю

Показник	Рекомендоване значення	Вплив на збереженість
Температура повітря	0...2 °C	Сповільнює дихання і розвиток мікроорганізмів
Відносна вологість	95...100 %	Зменшує в’янення і втрату маси
Питома подача повітря під час охолодження	близько 80 м³/(год·т)	Забезпечує відведення польового тепла
Питома подача у режимі підтримання	20...30 м³/(год·т)	Підтримує стабільний мікроклімат
Контроль стану продукції	1 раз на 7...10 діб	Дозволяє своєчасно виявити осередки псування

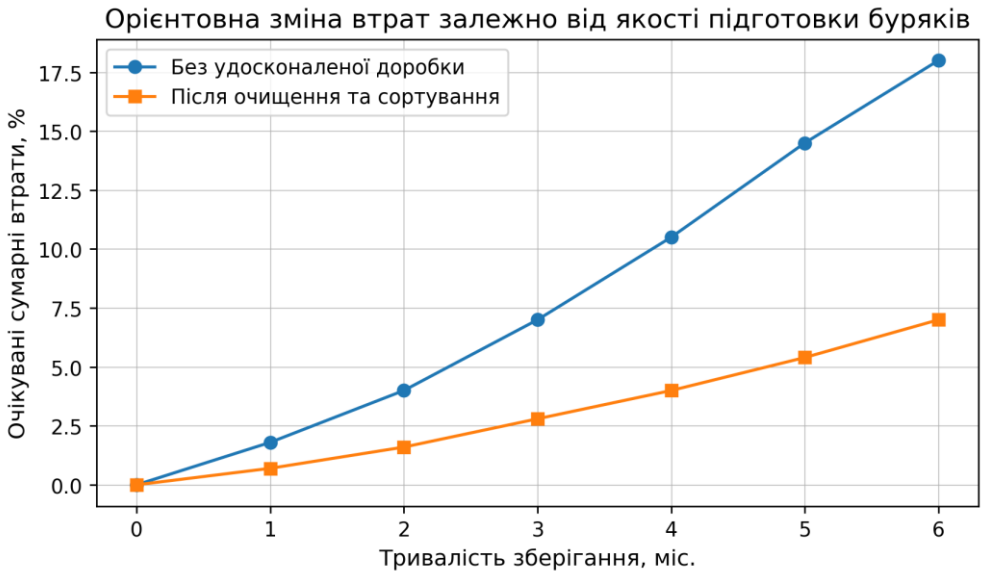


Рис. 2.6. Орієнтовна зміна втрат залежно від якості підготовки буряків.

Графік показує, що якісне очищення і сортування не усувають природні втрати повністю, але суттєво зменшують їх темпи. Найбільший ефект досягається у перші місяці зберігання, коли вилучення пошкоджених коренеплодів запобігає поширенню гнилей у загальній масі продукції.

2.8 Організація контролю якості та безперервності технологічного процесу

Для забезпечення стабільної роботи лінії необхідно організувати контроль на всіх етапах руху продукції. Під час приймання оцінюють масу партії, вміст ґрунтових домішок, наявність пошкоджених коренеплодів і температуру продукції. Партії з ознаками підморожування або загнивання доцільно обробляти окремо і не закладати разом із якісними буряками.

Під час роботи гіраційного грохота контролюють рівномірність подачі, товщину шару, наявність забивання отворів решета і чистоту товарної фракції. Якщо частка домішок після очищення зростає, необхідно зменшити подачу або змінити кут нахилу та режим коливань. Якщо з’являються додаткові механічні пошкодження, перевіряють місця перепадів, стики транспортерів і стан захисних накладок.

Після закладання у сховище ведуть журнал спостережень, де фіксують температуру, вологість, режим вентиляції і стан продукції. Такий контроль дозволяє своєчасно виявити осередки псування, скоригувати вентиляцію і зменшити втрати під час тривалого зберігання.

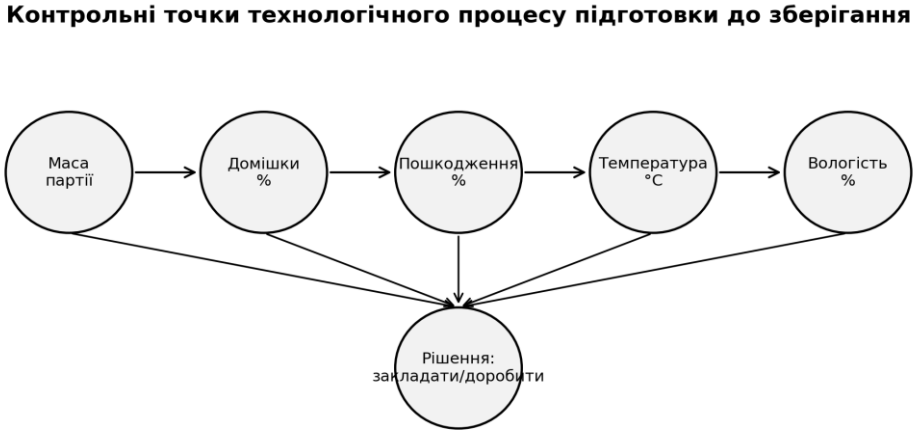


Рис. 2.7. Контрольні точки технологічного процесу підготовки буряків до зберігання.

Таблиця 2.8 – Система контролю технологічного процесу

Етап	Що контролюється	Коригувальні дії
Приймання	Маса партії, засміченість, пошкодження, температура	Роздільне приймання, додаткове сортування
Очищення	Рівномірність шару, чистота фракції, забивання решета	Регулювання подачі, кута нахилу і режиму коливань
Сортування	Частка некондиційних коренеплодів після контролю	Зміна швидкості полотна, збільшення кількості робочих місць
Транспортування	Удари, падіння, стирання шкірки	Зменшення висоти перепадів, встановлення еластичних накладок
Зберігання	Температура, вологість, осередки псування	Регулювання вентиляції, видалення зіпсованих коренеплодів

Висновки по розділу

Обґрунтовано технологічний процес післязбиральної обробки столових буряків, який включає приймання, дозування, очищення, сортування, транспортування і закладання у сховище. Встановлено, що ключовими умовами зменшення втрат є видалення ґрунтових домішок, вилучення пошкоджених коренеплодів, м’яке транспортування та підтримання стабільного температурно-вологісного режиму. За прийнятих розрахункових умов валовий збір становить 500 т, а маса товарної продукції після доробки – близько 447,5 т. Розрахункова продуктивність лінії 6 т/год забезпечує підготовку заданого обсягу буряків за 12...13 робочих змін. Застосування гіраційного грохота є технологічно доцільним, оскільки він забезпечує попереднє очищення, вирівнює потік перед сортуванням і може працювати у м’якому режимі. Для зберігання столових буряків необхідно підтримувати температуру близько 0...2 °С, відносну вологість 95...100 % і організувати регулярний контроль стану продукції.

РОЗДІЛ 3
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГІРАЦІЙНОГО ГРОХОТА ДЛЯ ПІДГОТОВКИ СТОЛОВИХ БУРЯКІВ ДО ЗБЕРІГАННЯ

3.1 Вихідні умови та розрахунок технологічних параметрів лінії

Післязбиральна підготовка столових буряків до тривалого зберігання повинна забезпечувати рівномірне подавання вороху, відокремлення ґрунтових домішок, видалення пошкоджених і нестандартних коренеплодів, а також передавання очищеної продукції на подальше сортування або закладання у сховище. Якість виконання цих операцій безпосередньо впливає на лежкість буряків, оскільки надлишок ґрунту, рослинних решток і механічно травмованих коренеплодів підвищує ризик самозігрівання та розвитку гнилей у масі продукції.

У технологічній схемі обробки коренеплодів приймальний бункер виконує не лише функцію завантажувальної ємності, а й роль проміжного компенсатора між транспортними засобами та сортувально-очисною машиною. Тому його місткість доцільно встановлювати так, щоб вона була достатньою для приймання разової партії продукції та водночас не створювала зайвого накопичення буряків перед робочими органами.

$$M_{сер} \le V_б \le Q_{зм} \cdot z / n, \qquad (3.1)$$

де $M_{сер}$ – середня маса буряків, що надходить від одного транспортного засобу, т; $V_б$ – прийнята місткість бункера, т; $Q_{зм}$ – змінна продуктивність збирального агрегату або пункту, т; z – кількість агрегатів, які працюють у потоці; n – кількість приймальних каналів лінії.

Залежність (3.1) дає змогу узгодити приймальну здатність бункера з фактичним надходженням продукції. За меншої місткості виникають простої транспорту під час розвантаження, а за надмірної – збільшується висота шару та зростає ймовірність пошкодження буряків у бункері.

Тривалість обслуговування одного транспортного засобу складається з часу під’їзду, безпосереднього розвантаження і від’їзду від приймальної зони:

$$t_{об} = t_{під} + t_{розв} + t_{від}. \quad (3.2)$$

Для прийнятих умов роботи:

$$t_{об} = 0{,}30 + 0{,}60 + 0{,}15 = 1{,}05 \text{ год.}$$

Час маневрування транспортного засобу залежить від планування майданчика, довжини під’їзної ділянки та середньої швидкості руху у зоні приймання. Узагальнено його можна подати виразом:

$$t_{під} + t_{від} = (1{,}5\ldots1{,}7) \cdot l_{п} / v_{сер}, \quad (3.3)$$

де $l_{п}$ – довжина під’їзного шляху, м; $v_{сер}$ – середня швидкість переміщення транспортного засобу під час під’їзду та від’їзду, м/с. Врахування цього показника необхідне для правильного розміщення бункера, транспортера та проїздів біля сортувальної лінії.

Під час вивантаження буряків із самоскидного транспорту процес, як правило, проходить у дві фази. Спочатку швидко сходить основна частина вороху, після чого залишок переміщується під дією рухомого дна бункера або похилого полотна. Орієнтовний об’єм залишку визначається за формулою:

$$V_{зал} = v_{д} \cdot S_{сер} \cdot t_{в}, \quad (3.4)$$

де $v_{д}$ – швидкість рухомого дна бункера, м/с; $S_{сер}$ – середня площа поперечного перерізу потоку, м²; $t_{в}$ – тривалість остаточного вивантаження, с. За прийнятих даних отримаємо:

$$V_{зал} = 0{,}28 \cdot 2{,}4 \cdot 23 = 15{,}46 \text{ м}^3.$$

Це значення використовується під час уточнення геометрії приймального бункера та вибору швидкості його подавального органу. Для столових буряків бажано уникати різких перепадів висоти і стискання шару, тому конструкція бункера повинна забезпечувати плавне сходження маси на завантажувальний транспортер.

Після первинного приймання ворох надходить на перебиральний стіл або в зону ручного контролю. Довжина цієї ділянки залежить від кількості робочих місць, ширини фронту відбору та допоміжних ділянок полотна:

$$l_{пс} = a \cdot l_р + l1 + l2, \tag{3.5}$$

де a – кількість робочих місць з одного боку стола або половина загальної кількості місць при двосторонньому обслуговуванні; lр – довжина робочої зони одного працівника, м; l1 – довжина завантажувальної частини; l_2 – ділянка від останнього робочого місця до кінця полотна. Для розглянутої лінії приймаємо $l_{пс}$ = 3,5 м, що забезпечує достатній час візуального контролю буряків без надмірного збільшення габаритів машини.

Продуктивність перебирального стола обмежується кількістю домішок і некондиційних коренеплодів, які необхідно відібрати, а також інтенсивністю роботи персоналу. Її можна оцінити за залежністю:

$$Q_{пс} = (2{,}4…4{,}0) \cdot m_{сер} \cdot n_р \cdot a / x_д, \tag{3.6}$$

де $m_{сер}$ – середня маса одного відібраного предмета, кг; $n_р$ – кількість відібраних предметів одним працівником за секунду; $x_д$ – частка домішок у загальній масі вороху. При $m_{сер}$ = 0,20 кг, $n_р$ = 0,90 шт./с, a = 0,12 та $x_д$ = 0,10 розрахункова продуктивність становить близько 8,3 т/год.

Пропускна здатність технологічної лінії за умови рівномірного потоку визначається шириною робочої поверхні, густиною шару, швидкістю його переміщення та коефіцієнтом заповнення:

$$Q_л = 3{,}6 \cdot B \cdot h \cdot \rho \cdot v \cdot k_з, \tag{3.7}$$

де B – ширина робочого органу, м; h – середня висота шару, м; ρ – насипна густина вороху буряків, кг/м³; v – швидкість переміщення шару, м/с; $k_з$ – коефіцієнт заповнення робочої поверхні. Для розрахунку приймаємо ρ = 650…750 кг/м³, $k_з$ = 0,7…0,8. Наведена залежність використовується для узгодження продуктивності бункера, транспортерів і гіраційного грохота.

Завантажувальний транспортер може бути самостійним вузлом або входити до складу сортувально-очисної машини. Його довжина обирається за компонуванням лінії, а кут нахилу обмежується умовою стійкого

переміщення буряків без скочування. Для похилих транспортерів доцільно застосовувати планки або лопатки з кроком 130…160 мм і висотою не менше 60 мм. Рекомендована швидкість полотна становить 0,4…0,8 м/с.

$$B_{тр} \geq 3{,}3 \cdot l_{max} + 0{,}20. \quad (3.8)$$

У формулі (4.8) l_{max} – найбільший поперечний розмір коренеплоду, м. Для столових буряків із максимальним розміром 0,10…0,12 м доцільно приймати ширину стрічки не менш як 0,55…0,60 м. Це зменшує небезпеку заклинювання коренеплодів і втрат продукції з полотна.

Для виносного транспортера основними розрахунковими параметрами є продуктивність, швидкість руху стрічки, довжина та потрібна потужність приводу. Продуктивність визначають так:

$$Q_{тр} = 3{,}6 \cdot F \cdot v_{тр} \cdot \rho \cdot \psi \cdot C, \quad (3.9)$$

де F – площа поперечного перерізу шару на стрічці, м²; vтр – швидкість стрічки, м/с; ψ – коефіцієнт заповнення; C – коефіцієнт, який враховує кут нахилу транспортера. За F = 0,08 м², $v_{тр}$ = 0,8 м/с, ρ = 650 кг/м³, ψ = 0,7 та C = 1 отримаємо $Q_{тр} \approx 104{,}8$ т/год, що забезпечує запас пропускної здатності відносно грохота.

$$N_{тр} = N_0 / \eta_{пр}, \quad (3.10)$$

де N_0 – потужність на ведучому валу транспортера; $\eta_{пр}$ – коефіцієнт корисної дії привода. Якщо N_0 = 3,3 кВт, а $\eta_{пр}$ = 0,94, то $N_{тр}$ = 3,51 кВт. Прийняті параметри бункера для сортувально-очисної лінії: довжина 6,0…8,0 м, ширина 2,0…3,0 м, висота до 1,2 м, кут нахилу полотна до 16°.

3.2 Обґрунтування модернізації робочого органу

У складі лінії для підготовки столових буряків до зберігання запропоновано застосувати одновальний гіраційний грохот. Його робочий орган здійснює примусові кругові коливання, при цьому площина решета зберігає паралельність початковому положенню. Завдяки такому руху ворох не зазнає різких ударних навантажень, а ґрунтові грудки, дрібні домішки та рослинні рештки інтенсивно проходять крізь отвори решета.

Порівняно з жорсткими коливальними робочими органами гіраційний грохот є доцільнішим для столових буряків, оскільки дає можливість поєднати сепарацію з обережним транспортуванням продукції. Для коренеплодів, які після очищення закладаються на зберігання, це особливо важливо: надмірні удари призводять до мікротріщин, втрати товарного вигляду та зменшення строку зберігання.

Модернізацію конструкції грохота пропонується спрямувати на підвищення м’якої дії робочого органу, стабілізацію переміщення вороху і полегшення технічного обслуговування. Основні конструктивні рішення такі:

– заміна суцільного жорсткого решета на секційне пруткове або перфороване полотно з можливістю швидкого демонтажу окремих секцій;

– встановлення еластичних накладок у місцях можливого контакту буряків з металевими кромками;

– застосування вертикальних підвісок, які знижують передачу вібрацій на раму та забезпечують більш спокійну роботу агрегату;

– можливість регулювання кута нахилу решета в межах 8…12° залежно від вологості вороху та вмісту домішок;

– захист ланцюгової передачі кожухом і передбачення зручного регулювання натягу ланцюга;

– організація окремого відведення ґрунтових домішок транспортером, що запобігає їх повторному потраплянню у потік очищених буряків.

До основних параметрів гіраційного грохота належать частота обертання ексцентричного вала n, амплітуда коливань r, ширина B і довжина L решета, а також кут його нахилу α. Збільшення кута нахилу прискорює рух маси по решету та підвищує продуктивність, але скорочує час контакту вороху з робочою поверхнею. Тому для очищення столових буряків приймається помірний кут α = 8…12°, що забезпечує компроміс між продуктивністю та якістю сепарації.

Режим роботи грохота обирається так, щоб коренеплоди переважно ковзали і перекочувалися по поверхні, а не підкидалися на значну висоту.

Для цього частота коливань і амплітуда мають відповідати допустимій швидкості контакту буряка з решетом. У тихохідному режимі з ковзанням ризик механічних пошкоджень мінімальний, проте за потреби підвищення продуктивності допускається робота у напівшвидкісному режимі.

Основні параметри модернізованого грохота наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Прийняті параметри одновального гіраційного грохота

Параметр	Позначення	Прийняте значення
Довжина решета	L	2,2 м
Ширина решета	B	0,65 м
Площа робочої поверхні	$F_p = B \cdot L$	1,43 м²
Кут нахилу решета	α	8…12°
Ексцентриситет	r	25…30 мм
Частота обертання ексцентричного вала	n	220…250 об/хв
Допустима швидкість контакту коренеплоду	vдоп	до 1,0 м/с

3.3 Будова та принцип роботи модернізованого гіраційного грохота

Конструктивно одновальний гіраційний грохот складається з рами, завантажувального елеватора, привода, робочого решета, виносного транспортера очищених буряків і транспортера ґрунтових домішок. Рама сприймає статичні та динамічні навантаження від робочого органу, а вертикальні підвіски забезпечують задану траєкторію коливань і частково ізолюють основу від вібрацій.

Завантажувальний елеватор подає ворох буряків на початкову ділянку решета. Завдяки похилому розташуванню та коловим коливанням маса рівномірно розподіляється по ширині робочої поверхні. Дрібні ґрунтові частинки і рослинні рештки проходять крізь отвори або проміжки решета та спрямовуються на транспортер домішок. Очищені коренеплоди переміщуються до виносного транспортера, після чого можуть надходити на перебиральний стіл, калібрувальний пристрій або безпосередньо до зони закладання на зберігання.

Привід грохота виконано від електродвигуна через ланцюгову передачу на ексцентричний вал. Обертання вала перетворюється на круговий рух решета, який забезпечує одночасне розпушування шару, просіювання домішок і поздовжнє переміщення буряків. Для зменшення травмування продукції на робочих кромках передбачаються еластичні накладки, а в місцях падіння буряків – зони плавного переходу без гострих виступів.

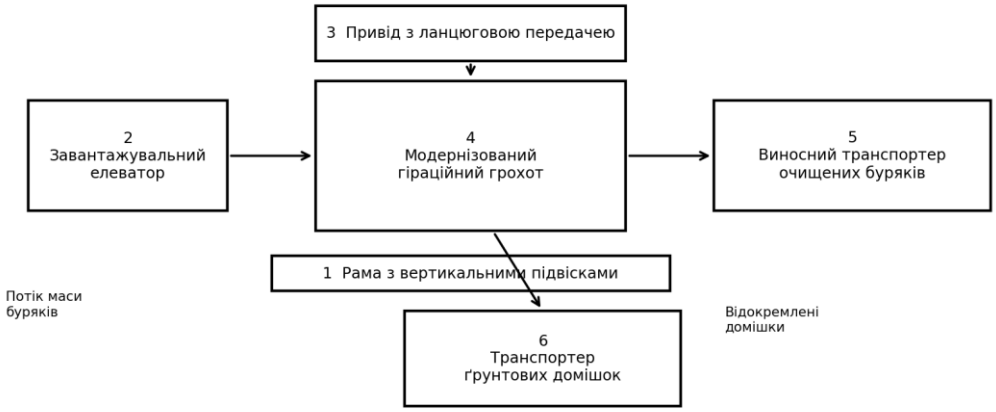


Рис. 3.1. Схема модернізованого одновального гіраційного грохота: 1 – рама з вертикальними підвісками; 2 – завантажувальний елеватор; 3 – привід; 4 – гіраційний грохот; 5 – виносний транспортер очищених буряків; 6 – транспортер ґрунтових домішок.

Робоча частота обертання ексцентричного вала приймається в межах 220…250 об/хв. Такий діапазон достатній для інтенсивного відокремлення ґрунтових домішок і водночас не створює надмірних ударних навантажень на коренеплоди. Кут нахилу решета не рекомендується збільшувати понад 12°, оскільки за більшого нахилу буряки швидше сходять з поверхні, а повнота виділення домішок зменшується.

Запропоноване компонування покращує умови підготовки буряків до зберігання: ґрунт і дрібні домішки відводяться окремим потоком, а очищена продукція виходить із машини рівномірним шаром. Це спрощує подальше сортування, зменшує засміченість буртів або контейнерів і знижує втрати під час зберігання.

3.4 Кінематичний розрахунок гіраційного грохота

Кінематичний розрахунок виконується для перевірки відповідності вибраної частоти обертання і ексцентриситету вимогам м’якої роботи з продукцією. Під час кругового руху миттєва швидкість точки решета визначається за формулою:

$$v_к = \omega \cdot r, \tag{3.11}$$

де ω – кутова швидкість ексцентричного вала, рад/с; r – ексцентриситет, м. Кутова швидкість пов’язана з частотою обертання так:

$$\omega = 2\pi \cdot n / 60. \tag{3.12}$$

Для середнього режиму приймаємо $n = 230$ об/хв і $r = 0{,}028$ м. Тоді:

$$\omega = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 230 / 60 = 24{,}1 \text{ рад/с},$$

$$v_к = 24{,}1 \cdot 0{,}028 = 0{,}67 \text{ м/с}.$$

Отримана швидкість є меншою за допустиму $v_{доп} = 1{,}0$ м/с, тому вибраний режим можна вважати прийнятним для обережного очищення столових буряків. Додатково визначимо прискорення коливального руху:

$$a_к = \omega^2 \cdot r. \tag{3.13}$$

$$a_к = 24{,}1^2 \cdot 0{,}028 = 16{,}3 \text{ м/с}^2.$$

Прискорення достатнє для руйнування слабких зв’язків між коренеплодами та ґрунтовими домішками, але не призводить до надмірного підкидання продукції. Довжина решета $L = 2{,}2$ м і ширина $B = 0{,}65$ м прийняті з урахуванням продуктивності лінії та необхідного часу перебування вороху на сепарувальній поверхні.

Площа робочого полотна становить:

$$F_р = B \cdot L = 0{,}65 \cdot 2{,}2 = 1{,}43 \text{ м}^2. \tag{3.14}$$

За наявності регулювання кута нахилу оператор може пристосовувати грохот до стану вороху. Якщо буряки надходять із підвищеною кількістю вологого ґрунту, кут нахилу доцільно зменшити, щоб збільшити час сепарації. За сухого та сипкого вороху кут можна збільшити до верхньої межі, підвищивши пропускну здатність машини.

3.5 Розрахунок привода грохота

Привід модернізованого гіраційного грохота повинен забезпечувати стабільне обертання ексцентричного вала і мати запас потужності для роботи з нерівномірним ворохом. Розрахунок виконуємо для ланцюгової передачі, яка передає обертання від електродвигуна до вала грохота.

Вихідні дані для розрахунку: колова сила на валу грохота Ft = 2000 Н; кутова швидкість ведучого вала ω = 10 рад/с; діаметр барабана або вала D = 0,30 м; орієнтовний строк служби привода t = 10000 год.

Крутний момент на валу грохота визначається за залежністю:

$$T = F_t \cdot D / 2. \quad (3.15)$$

$$T = 2000 \cdot 0{,}30 / 2 = 300 \text{ Н·м}.$$

Потужність, необхідна для виконання технологічного процесу, становить:

$$P = T \cdot \omega. \quad (3.16)$$

$$P = 300 \cdot 10 = 3000 \text{ Вт} = 3{,}0 \text{ кВт}.$$

Потрібна потужність електродвигуна визначається з урахуванням загального коефіцієнта корисної дії привода:

$$P_{дв} = P / \eta_{заг}. \quad (3.17)$$

Загальний ККД привода для підшипникових вузлів і відкритої ланцюгової передачі приймається як добуток:

$$\eta_{заг} = \eta_1 \cdot \eta_2. \quad (4.18)$$

Для розрахунку приймаємо η1 = 0,99 – ККД підшипників кочення, η2 = 0,92 – ККД відкритої ланцюгової передачі. Тоді:

$$\eta_{заг} = 0{,}99 \cdot 0{,}92 = 0{,}91,$$

$$P_{дв} = 3{,}0 / 0{,}91 = 3{,}29 \text{ кВт}.$$

З урахуванням можливих перевантажень при нерівномірному надходженні буряків доцільно прийняти електродвигун із номінальною потужністю 4,0 кВт і частотою обертання 1500 об/хв. Такий вибір забезпечує необхідний запас потужності та зменшує ймовірність зупинки грохота при тимчасовому збільшенні шару вороху.

Передаточне відношення ланцюгової передачі приймаємо i = 2. Якщо кутова швидкість електродвигуна становить приблизно 80 рад/с, то на валу грохота отримаємо близько 40 рад/с до подальшого узгодження з ексцентричним вузлом. Остаточні режими роботи встановлюються підбором зірочок і, за потреби, частотним регулюванням електродвигуна.

3.6 Розрахунок ланцюгової передачі

Ланцюгова передача обрана через простоту конструкції, ремонтопридатність і достатню надійність у запилених умовах роботи сортувально-очисної лінії. Вихідними даними є: потужність на ведучому валу P = 3,3 кВт; кутова швидкість ведучої зірочки ω1 = 80 рад/с; передаточне відношення i = 2.

Кількість зубців ведучої зірочки приймаємо:

$$z_1 = 25. \tag{3.19}$$

Кількість зубців веденої зірочки визначається за передаточним відношенням:

$$z_2 = z_1 \cdot i = 25 \cdot 2 = 50. \tag{3.20}$$

Уточнене передаточне відношення становить:

$$i_y = z_2 / z_1 = 50 / 25 = 2. \tag{3.21}$$

Оскільки отримане значення збігається з прийнятим, коригування кількості зубців не потрібне. Для визначення кроку ланцюга враховуємо коефіцієнт експлуатації, який залежить від характеру навантаження, способу регулювання натягу, кута нахилу гілок, режиму змащування, тривалості роботи та міжосьової відстані:

$$K_e = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6. \tag{3.22}$$

Приймаємо K1 = 1,2; K_2 = 1,25; K_3 = 1,25; K_4 = 1,5; K_5 = 1,25; K_6 = 1,25. Тоді:

$$K_e = 1{,}2 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}25 = 4{,}39.$$

За допустимим тиском у шарнірах [p] = 21 МПа та однорядним виконанням ланцюга розрахунковий крок становить приблизно 16,1 мм. З

урахуванням стандартного ряду приймаємо роликовий ланцюг з кроком tл = 19,05 мм.

Міжосьову відстань зручно прийняти в межах 30…50 кроків. Для даної передачі приймаємо ар = 40 кроків, тоді фактична міжосьова відстань дорівнює:

$$a = a_р \cdot t_л = 40 \cdot 19{,}05 = 762 \text{ мм}. \quad (3.23)$$

Для забезпечення можливості монтажу і подальшого натягу ланцюга монтажна відстань зменшується:

$$a_м = 0{,}995 \cdot a = 0{,}995 \cdot 762 = 758 \text{ мм}. \quad (3.24)$$

Орієнтовна кількість ланок ланцюга визначається за формулою:

$$L_р = 2a_р + (z_1 + {}_{z2})/2 + ((z_2 - z_1)/2\pi)^2 / a_р. \quad (3.25)$$

$$L_р = 2 \cdot 40 + (25 + 50)/2 + ((50 - 25)/6{,}28)^2 / 40 = 117{,}9.$$

Приймаємо парну кількість ланок Lp = 120. Довжина ланцюга становитиме:

$$L = L_р \cdot t_л = 120 \cdot 19{,}05 = 2286 \text{ мм}. \quad (3.26)$$

Ділильні діаметри зірочок визначаємо за виразом:

$$d_д = t_л / \sin(180° / z). \quad (3.27)$$

$$d_{д1} = 19{,}05 / \sin(180° / 25) = 151{,}9 \text{ мм},$$

$$d_{д2} = 19{,}05 / \sin(180° / 50) = 303{,}4 \text{ мм}.$$

Підсумкові параметри ланцюгової передачі подано в таблиці 4.2.

Таблиця 3.2 – Основні результати розрахунку ланцюгової передачі

Показник	Значення
Потужність на ведучому валу	3,3 кВт
Передаточне відношення	2,0
Кількість зубців ведучої зірочки z1	25
Кількість зубців веденої зірочки z2	50
Крок ланцюга tл	19,05 мм
Міжосьова відстань a	762 мм
Монтажна міжосьова відстань ам	758 мм
Кількість ланок Lp	120
Довжина ланцюга L	2286 мм
Ділильні діаметри зірочок	151,9 мм; 303,4 мм

4.7 Конструювання зірочок і рекомендації з експлуатації

Зірочки роликового ланцюга доцільно профілювати відповідно до вимог стандартів для ланцюгових передач. Шарніри ланок, які перебувають у зачепленні із зірочкою, розміщуються на ділильному колі, тому правильне визначення ділильного діаметра є базою для побудови профілю зубців.

Діаметр кола виступів зірочки можна орієнтовно визначити залежністю:

$$D_e = t_л \cdot (0{,}5 + \operatorname{ctg}(180° / z)). \quad (3.28)$$

Для ведучої зірочки z1 = 25:

$$D_{e1} = 19{,}05 \cdot (0{,}5 + \operatorname{ctg}(180° / 25)) \approx 160 \text{ мм}.$$

Для веденої зірочки z2 = 50:

$$D_{e2} = 19{,}05 \cdot (0{,}5 + \operatorname{ctg}(180° / 50)) \approx 312 \text{ мм}.$$

Профіль зубця формується западиною під ролик і спряженими дугами, які забезпечують плавний вхід ланки в зачеплення та її вихід із зачеплення. Для ролика діаметром $_{Dp}$ = 11,91 мм радіус западини можна прийняти:

$$r_0 = 0{,}5025 \cdot D_p + 0{,}05 = 0{,}5025 \cdot 11{,}91 + 0{,}05 \approx 6{,}0 \text{ мм}. \quad (3.29)$$

Радіус спряженої дуги:

$$r_1 = 0{,}8 \cdot D_p + r_0 = 0{,}8 \cdot 11{,}91 + 6{,}0 \approx 15{,}5 \text{ мм}. \quad (3.30)$$

Ширина зубчастого вінця для однорядного ланцюга приймається за внутрішньою шириною ланцюга та умовами зачеплення. У розглянутому варіанті орієнтовна ширина вінця становить 28 мм. Для виготовлення зірочок доцільно застосовувати середньовуглецеві або леговані сталі, наприклад 45, 40Х, 50Г2, з поверхневим або об’ємним гартуванням до твердості HRC 45…55. За підвищених вимог до зносостійкості можливе застосування цементованих сталей із твердістю робочої поверхні HRC 55…60.

Оскільки грохот працює в умовах запиленості та можливого потрапляння ґрунтових частинок, ланцюгову передачу необхідно обладнати захисним кожухом. Він підвищує безпеку обслуговування, зменшує забруднення шарнірів ланцюга та подовжує строк служби передачі. Для

зручності технічного обслуговування передбачаються регулювальні пази або натяжний пристрій, що дозволяє компенсувати видовження ланцюга.

Змащування ланцюгової передачі слід виконувати регулярно. Для середньошвидкісних відкритих передач можна застосовувати крапельне змащування або періодичне внутрішньошарнірне змащування. При роботі з помірними навантаженнями рекомендуються індустріальні мастила І-30А або І-40А, а для легших режимів – І-20А. Періодичність обслуговування уточнюється залежно від запиленості робочої зони і тривалості зміни.

Після модернізації гіраційний грохот повинен забезпечити більш рівномірне очищення столових буряків, зниження частки ґрунтових домішок у масі продукції та зменшення механічних пошкоджень коренеплодів. Це позитивно вплине на умови подальшого зберігання, оскільки в сховище надходитиме більш чиста і менш травмована продукція.

Висновки до розділу

У конструктивному розділі обґрунтовано використання одновального гіраційного грохота у технологічному процесі підготовки столових буряків до зберігання. Встановлено, що для забезпечення м’якого режиму роботи доцільно приймати ексцентриситет 25…30 мм, частоту обертання ексцентричного вала 220…250 об/хв і кут нахилу решета 8…12°. За таких умов коренеплоди переміщуються по поверхні без надмірного підкидання, а ґрунтові домішки ефективно відокремлюються від основного потоку.

Запропонована модернізація передбачає секційне виконання решета, еластичний захист робочих кромок, вертикальні підвіски, регулювання кута нахилу та вдосконалену ланцюгову передачу із захисним кожухом. Розраховано основні параметри привода: потрібна потужність становить 3,29 кВт, тому для надійної роботи обрано електродвигун потужністю 4,0 кВт. Для ланцюгової передачі прийнято зірочки з кількістю зубців 25 і 50, крок ланцюга 19,05 мм, міжосьову відстань 762 мм і довжину ланцюга 2286 мм.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Вихідні дані та методика економічної оцінки

Метою техніко-економічного обґрунтування є визначення доцільності впровадження проектних рішень, спрямованих на удосконалення технологічного процесу післязбиральної обробки і зберігання столових буряків. У роботі економічний результат пов’язується насамперед із модернізацією конструкції гіраційного грохота, яка забезпечує рівномірнішу подачу коренеплодів, краще відокремлення ґрунтових домішок і зменшення механічного травмування продукції.

Економічна оцінка виконується порівнянням базового та проектного варіантів. Базовим вважається технологічний процес із менш ефективним попереднім очищенням, у якому частина ґрунтових домішок і пошкоджених коренеплодів потрапляє на наступні операції. Проектний варіант передбачає застосування модернізованого гіраційного грохота, узгодженого з продуктивністю лінії післязбиральної обробки.

У розрахунках враховуються капітальні вкладення, експлуатаційні витрати, вартість додатково збереженої продукції, економія праці та строк окупності. Розрахункові ціни, тарифні ставки і витрати прийнято як проектні показники для порівняльної оцінки, тому вони можуть уточнюватися відповідно до умов конкретного господарства.

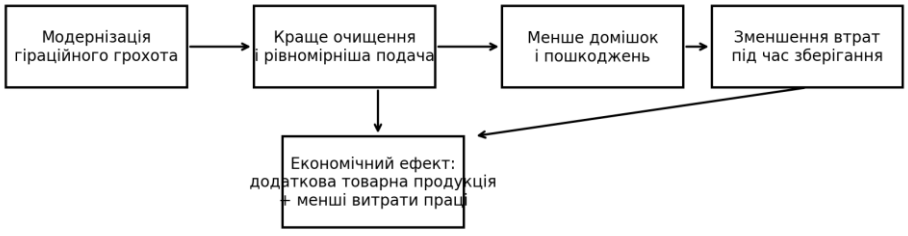


Рис. 4.1. Схема формування економічного ефекту від модернізації гіраційного грохота

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для економічних розрахунків

Показник	Позначення	Значення	Примітка
Валовий обсяг буряків, що надходить на доробку	$М_в$	500 т	Прийнято за технологічним розрахунком
Маса продукції, що закладається на зберігання	$М_з$	447,5 т	Після очищення і сортування
Продуктивність базового варіанта	$Q_б$	4,8 т/год	Через нерівномірну подачу та додаткове сортування
Продуктивність проектного варіанта	$Q_п$	6,0 т/год	Після модернізації очисного вузла
Розрахункова ціна товарних буряків	Ц	12000 грн/т	Для порівняльного проектного розрахунку
Тарифна ставка робітника	$С_т$	95 грн/год	Прийнято для розрахунку
Тариф на електроенергію	Те	8 грн/кВт·год	Прийнято для розрахунку

4.2 Розрахунок капітальних вкладень у модернізацію

Капітальні вкладення включають витрати на придбання матеріалів, виготовлення або доопрацювання вузлів грохота, модернізацію приводу, монтаж, налагодження та проектно-організаційні роботи. До складу модернізації доцільно віднести заміну або посилення решітної поверхні, установлення напрямних елементів, захисних накладок у місцях переходів, удосконалення ланцюгової передачі та регулювання режиму роботи грохота.

Загальна сума капітальних вкладень визначається за формулою:

$$К = В_м + В_п + В_{вм} + В_з + В_н + В_{пр}, \quad (4.1)$$

де $В_м$ – вартість матеріалів і заготовок; $В_п$ – вартість приводу та передачі; $В_{вм}$ – витрати на виготовлення і монтаж; $В_з$ – вартість захисних елементів; $В_н$ – витрати на контроль і налагодження; $В_{пр}$ – проектні та накладні витрати.

Таблиця 4.2 – Орієнтовна структура капітальних вкладень

Стаття витрат	Сума, грн	Частка, %
Матеріали та заготовки	38 000	37.6
Привід і передача	18 000	17.8
Виготовлення та монтаж	24 000	23.8
Захисні елементи	7 000	6.9
Контроль і налагодження	8 000	7.9
Проектні та накладні витрати	6 000	5.9

Разом	101 000	100,0

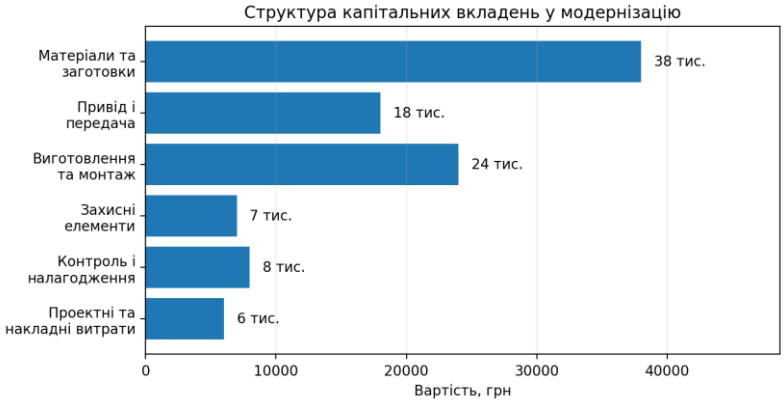


Рис. 4.2. Структура капітальних вкладень у модернізацію.

Отже загальна потреба в одноразових вкладеннях становить К = 101 000 грн. Найбільшу частку займають матеріали виготовлення та монтаж що є характерним для модернізації існуючого обладнання коли основна рама і частина вузлів залишаються придатними до використання.

4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати визначаються для одного сезону роботи лінії. До них віднесено оплату праці персоналу, витрати на електроенергію, технічне обслуговування і ремонт, а також інші виробничі витрати. Тривалість роботи лінії визначається діленням обсягу продукції на продуктивність відповідного варіанта:

$$T_р = M_в / Q. \quad (4.2)$$

Для базового варіанта $T_{рб}$ = 500 / 4,8 = 104,2 год, для проектного варіанта $T_{рп}$ = 500 / 6,0 = 83,3 год. Скорочення тривалості роботи становить 20,9 год, що зменшує витрати праці та підвищує організаційну стійкість процесу під час масового надходження коренеплодів.

Таблиця 4.3 – Розрахунок експлуатаційних витрат за сезон

Стаття витрат	Базовий варіант, грн	Проектний варіант, грн	Відхилення, грн
Оплата праці персоналу	59 375	39 583	19 792
Електроенергія	4 167	3 867	300
Технічне обслуговування і ремонт	8 500	12 500	-4 000
Інші виробничі витрати	6 500	6 000	500

Разом	78 542	61 950	16 592

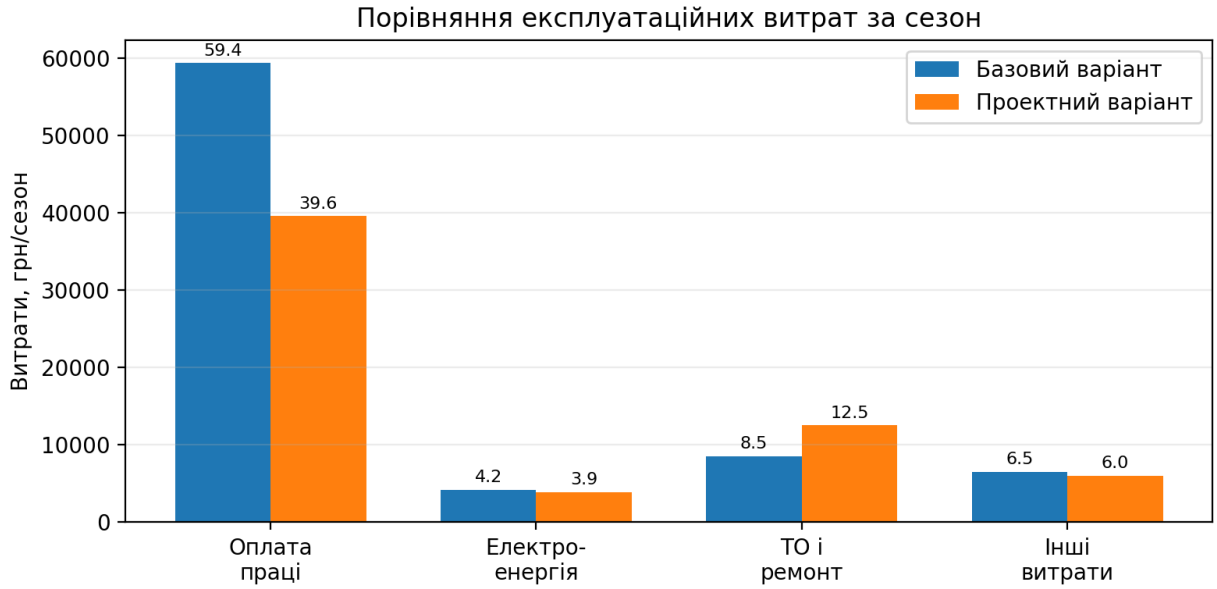


Рис. 4.3. Порівняння експлуатаційних витрат базового і проектного варіантів.

Незважаючи на деяке збільшення витрат на технічне обслуговування модернізованого вузла, загальні сезонні експлуатаційні витрати зменшуються. Основне джерело економії – скорочення тривалості робіт і кількості ручних операцій на сортуванні, оскільки на сортувальний стіл надходить чистіший і рівномірніший потік коренеплодів.

4.4 Визначення економічного ефекту від впровадження проектних рішень

Головним результатом модернізації є зменшення втрат під час зберігання. У базовому варіанті через неповне очищення, нерівномірність шару та більшу кількість механічно пошкоджених коренеплодів розрахункові втрати прийнято на рівні 9,5 % від маси продукції, що закладається. У проектному варіанті завдяки якіснішій підготовці партії втрати знижуються до 6,0 %.

Додатково збережена маса продукції становить $\Delta M = 447\ 5 \cdot (0\ 095 – 0\ 060) = 15.66$ т. Вартість цієї продукції дорівнює $E_{зб} = 15.66 \cdot 12000 = 187\ 950$ грн.

Таблиця 4.4 – Склад річного економічного ефекту

Джерело ефекту	Розрахунок	Сума, грн
Додатково збережена продукція	15.66 т · 12000 грн/т	187 950
Економія оплати праці	59 375 – 39 583	19 792
Економія електроенергії	4 167 – 3 867	300
Економія інших витрат	6 500 – 6 000	500
Додаткові витрати на ТО	12 500 – 8 500	-4 000
Разом річний ефект	сума складових	204 542

Таким чином очікуваний річний економічний ефект від впровадження проектних рішень становить приблизно Е = 204 542 грн. Найбільший внесок має не зменшення енергоспоживання а підвищення збереженості товарної продукції.

4.5 Показники ефективності проектних рішень

Для оцінки ефективності використовуються строк окупності, коефіцієнт економічної ефективності та зниження собівартості післязбиральної доробки. Строк окупності визначається відношенням капітальних вкладень до річного економічного ефекту:

$$T_{ок} = К / Е. \quad (4.3)$$

За прийнятих даних $T_{ок}$ = 101 000 / 204 542 = 0.49 року а коефіцієнт економічної ефективності становить $Е_к$ = 2.03. Це свідчить про доцільність модернізації оскільки вкладення повертаються менше ніж за один сезон зберігання.

Таблиця 4.5 – Узагальнені показники економічної ефективності

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Результат
Продуктивність лінії, т/год	4,8	6,0	+25,0 %
Тривалість сезонної доробки, год	104,2	83,3	–20,9 год
Втрати під час зберігання, %	9,5	6,0	–3,5 в.п.
Експлуатаційні витрати, грн/сезон	78 542	61 950	–16 592 грн
Витрати на доробку 1 т, грн/т	157.1	123.9	–33.2 грн/т
Капітальні вкладення, грн	–	101 000	одноразові
Річний економічний ефект, грн	–	204 542	позитивний
Строк окупності, року	–	0.49	менше 1 року

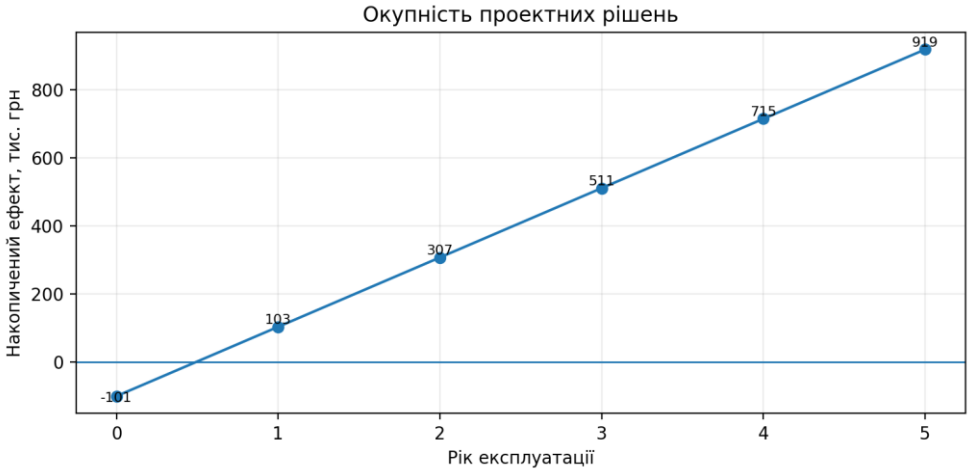


Рис. 4.4. Динаміка накопиченого економічного ефекту.

Крива окупності показує, що після покриття одноразових вкладень подальша експлуатація модернізованого грохота формує чистий позитивний результат. За п’ятирічний період накопичений ефект може перевищити 900 тис. грн без урахування можливої зміни цін, тарифів і обсягів виробництва.

Висновки по розділу

Виконано техніко-економічне обґрунтування проектних рішень щодо модернізації гіраційного грохота в лінії післязбиральної обробки столових буряків. Загальні капітальні вкладення у модернізацію становлять близько 101 000 грн основну частку яких формують матеріали виготовлення монтаж і модернізація приводу. У проектному варіанті продуктивність лінії зростає з 4,8 до 6,0 т/год, а тривалість сезонної доробки зменшується на 20,9 год. Завдяки зменшенню втрат під час зберігання та економії експлуатаційних витрат річний економічний ефект становить приблизно 204 542 грн. Строк окупності проектних рішень дорівнює 0.49 року, що підтверджує економічну доцільність впровадження модернізованого гіраційного грохота.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу зберігання столових буряків із модернізацією конструкції гіраційного грохота. Актуальність теми зумовлена необхідністю зменшення втрат коренеплодів під час післязбиральної доробки, підвищення якості очищення та сортування продукції, а також забезпечення кращих умов для тривалого зберігання столових буряків. Встановлено, що якість збереження значною мірою залежить не лише від температурно-вологісного режиму сховища, а й від стану продукції перед закладанням на зберігання.

У першому розділі було проаналізовано сучасний стан питання зберігання столових буряків. Розглянуто господарське значення культури, її біологічні та фізико-механічні властивості, основні причини втрат під час зберігання, а також вимоги до якості коренеплодів. Визначено, що найбільший вплив на лежкість продукції мають механічні пошкодження, наявність ґрунтових домішок, некондиційних коренеплодів, порушення режимів температури й відносної вологості повітря. Доведено, що ефективна післязбиральна обробка є обов’язковою умовою підвищення збереженості столових буряків.

У другому розділі виконано технологічне обґрунтування процесу післязбиральної обробки та зберігання столових буряків. Запропоновано послідовність операцій, яка включає приймання, транспортування, очищення, сортування, відокремлення домішок, видалення пошкоджених коренеплодів і подальше закладання якісної продукції на зберігання. Обґрунтовано необхідність використання механізованої лінії, яка забезпечує рівномірність потоку продукції, зменшує частку ручної праці та підвищує продуктивність робіт. Особливу увагу приділено операції очищення, оскільки саме вона впливає на кількість домішок, рівень травмування коренеплодів і подальшу стабільність зберігання.

У третьому розділі розглянуто конструктивне удосконалення гіраційного грохота, призначеного для очищення столових буряків від ґрунтових домішок і дрібних включень. Обґрунтовано основні технологічні та конструктивні параметри робочого органу, зокрема частоту коливань, амплітуду, кут нахилу решета, розміри робочої поверхні та параметри приводу. Модернізація грохота спрямована на забезпечення більш м’якої дії на коренеплоди, зменшення їх пошкодження та підвищення інтенсивності відокремлення домішок. Запропоноване конструктивне рішення дозволяє покращити якість підготовки столових буряків до зберігання і підвищити надійність роботи технологічної лінії.

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування прийнятих проектних рішень. Встановлено, що впровадження модернізованого гіраційного грохота забезпечує економічний ефект за рахунок зменшення втрат продукції, скорочення витрат ручної праці, підвищення продуктивності післязбиральної доробки та поліпшення якості коренеплодів, які надходять на зберігання. Розрахунки підтверджують доцільність запропонованого удосконалення, оскільки витрати на модернізацію можуть бути компенсовані завдяки підвищенню товарного виходу продукції та зниженню експлуатаційних витрат.

Отже, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута. Удосконалення технологічного процесу зберігання столових буряків шляхом модернізації конструкції гіраційного грохота є технічно обґрунтованим і економічно доцільним. Запропоновані рішення можуть бути використані в умовах сільськогосподарських підприємств, овочесховищ і пунктів післязбиральної доробки коренеплодів для підвищення ефективності виробництва, зменшення втрат і забезпечення стабільної якості продукції протягом періоду зберігання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Заєць М. Л. Модель роторного очисника коренеплодів цукрових буряків Наукові читання–2020: Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики, Житомир: ЖНАЕУ, 2020. – с. 23-26.

2. Подпрятов Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М., Хилевич В. С. Зберігання і переробка продукції рослинництва : навч. посіб. Київ : Мета, 2002. 495 с.

3. Пузік Л. М., Гордієнко І. М. Технологія зберігання плодів, овочів та винограду : навч. посіб. Харків : Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, 2011. 336 с.

4. Подпрятов Г. І., Бобер А. В. Технологія зберігання та переробки плодів та овочів : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2019. 492 с.

5. Найченко В. М. та ін. Технологія зберігання, консервування та переробки плодів і овочів : підручник. Мелітополь : ВПЦ «Люкс», 2017. 291 с.

6. Післязбиральна доробка плодів, овочів та винограду : методичні матеріали. Київ : НУБіП України, 2014. 44 с.

7. Лебедєв С. А., Мясушка М. С., Тетівник Г. О., Твердохліб С. П., Халін С. В. Машини, агрегати та комплекси для післязбиральної обробки і зберігання врожаю : монографія / за ред. С. В. Халіна, С. А. Лебедєва. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2023. 323 с.

8. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

9. Войтюк Д. Г., Яцун С. С., Довжик М. Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2008. 543 с.

10. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник / Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.

11. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 275 с.

12. Міняйло А. В. та ін. Деталі машин : підручник. Київ : Агроосвіта, 2013. 448 с.

13. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин : підручник. Львів : Афіша, 2003. 560 с.

14. Розрахунок ланцюгової передачі. Інженерна механіка : електронний навчальний ресурс. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tm_8/page9.html (дата звернення: 1.06.2026).

15. Методичні рекомендації з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції, робіт, послуг сільськогосподарських підприємств : наказ Міністерства аграрної політики України від 18.05.2001 № 132. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/v0132555-01 (дата звернення: 1.06.2026).

16. Андрійчук В. Г. Економіка підприємств агропромислового комплексу : підручник. Київ : КНЕУ, 2013. 779 с.

17. Азізов С. П., Саблук П. Т., Канінський П. К. Організація аграрного виробництва і бізнесу : підручник. Київ : ННЦ ІАЕ, 2006. 790 с.

18. Kader A. A. Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3rd ed. Davis : University of California, Agriculture and Natural Resources, 2002. 535 p.

19. Thompson A. K. Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling and Storage. 3rd ed. Chichester : Wiley-Blackwell, 2015. 1008 p.

20. Hardenburg R. E., Watada A. E., Wang C. Y. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. Washington : U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1986. Agriculture Handbook No. 66. 130 p.

21. Gross K. C., Wang C. Y., Saltveit M. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. Washington : U.S. Department

of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016. Agriculture Handbook No. 66. URL: https://www.ars.usda.gov/is/np/CommercialStorage/CommercialStorage.pdf (date of access: 1.06.2026).

22. FAO. Prevention of Post-Harvest Food Losses: Fruits, Vegetables and Root Crops. A Training Manual. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1989. FAO Training Series No. 17/2. URL: https://www.fao.org/4/t0073e/t0073e00.htm (date of access: 1.06.2026).

23. FAO. Section 7: Storage of Horticultural Crops. URL: https://www.fao.org/4/x5403e/x5403e09.htm (date of access: 1.06.2026).

24. ISO 2169:1981. Fruits and vegetables — Physical conditions in cold stores — Definitions and measurement. Geneva : International Organization for Standardization, 1981. 5 p.

25. UC Davis Postharvest Research and Extension Center. Compatibility Chart for Short-Term Transport or Storage. URL: https://postharvest.ucdavis.edu/compatibility-chart-short-term-transport-or-storage (date of access: 19.06.2026).

26. Global Cold Chain Alliance. Beets. Commodity Storage Manual. URL: https://www.gcca.org/legacy-system/Beets_0_0.pdf (date of access: 1.06.2026).

27. Cargo Handbook. Beetroot. URL: https://www.cargohandbook.com/Beetroot (date of access: 1.06.2026).

28. University of Alaska Fairbanks Cooperative Extension Service. Vegetable Storage in Root Cellars. URL: https://www.uaf.edu/ces/publications/database/food/vegetable-storage.php (date of access: 1.06.2026).

29. University of Delaware Cooperative Extension. Harvest and Post-Harvest Handling of Fall Root Crops. URL: https://sites.udel.edu/weeklycropupdate/?p=14258 (date of access: 1.06.2026).

30. Shevchenko, I., Golub, G., Tsyvenkova, N., Shevchenko, I., Titova, L., Omarov, I., Sukmaniuk, O., Kulykivskyi, V., Borovskyi, V., & Zayets, M. Substantiating the structural and technological parameters of tillage rotary X-like working bodies. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Vol. 4, No. 1 (130). P. 45–53.

31. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.

32. Schouten S. P., van Schaik A. C. R. Storage of Red Beets. Acta Horticulturae. 1981. Vol. 116. P. 17–24. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1981.116.3.

33. Kiaya V. Post-Harvest Losses and Strategies to Reduce Them. Action Contre la Faim, 2014. 25 p. URL: https://www.actioncontrelafaim.org/app/uploads/sites/2/2018/01/technical_paper_phl__.pdf (date of access: 19.06.2026).