

В.М. Мартишко¹ [0000-0002-9846-7455], Ю.О. Гуменюк¹ [0000-0003-2463-1950],
О.П. Деркач¹ [0000-0002-6881-3521]

ОБґРУНТУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНИХ АГРЕГАТИВ ДЛЯ ПОТОКОВОГО ЗБИРАННЯ ПЛОДІВ

Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ, Україна¹
Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна²

Дослідження присвячене удосконаленню потокового процесу «збирання – транспортування – товарна обробка» плодів у садівництві, що є важливим для продовольчої безпеки та експортного потенціалу галузі. Розглянуто вплив організації внутрішньогосподарської логістики на збереження якості продукції та мінімізацію втрат. Досліджено формування черг перед приймальним каналом та умови безперервності технологічного циклу виробництва. Запропоновано модель системи масового обслуговування, що дозволяє аналітично описати процес надходження врожаю, визначити оптимальну кількість транспортних засобів і узгодити пропускну здатність ланок. Результати сприяють зниженню втрат урожаю та підвищенню ефективності виробництва.

Ключові слова: потокова технологія, збирання плодів, транспортування, товарна обробка, система масового обслуговування, логістична схема.

V.M. Martyshko, Yu.O. Gumenyuk, O.P. Derkach

JUSTIFICATION OF THE NUMBER OF HARVESTING AND TRANSPORT UNITS FOR FLOW FRUIT HARVESTING

The study focuses on improving the flow process of “harvesting – transportation – post-harvest handling” of fruit in horticulture, which is important for food security and the export potential of the industry. The impact of on-farm logistics organization on product quality preservation and loss reduction is examined. Queue formation at the reception channel and conditions ensuring continuous technological flow are analyzed. A queuing system model is proposed, enabling an analytical description of crop arrival, optimization of the number of transport units, and coordination of processing capacities. The results contribute to reducing crop losses and increasing production efficiency.

Keywords: flow technology, fruit harvesting, transportation, post-harvest handling, queuing system, logistics scheme.

Стан питання та постановка проблеми. Рівень механізації садівництва в Україні досить низький, що не відповідає вимогам сучасних технологій, а частка ручної праці при збиранні плодів залишається критично високою. Збирання та транспортування плодів – це процеси, від яких залежить якість продукції та термін її зберігання. Плоди є живими організмами, у яких навіть після знімання тривають процеси дихання та обміну речовин. Як показали дослідження при збиранні і транспортуванні яблук більше 15-20% продукції не доходить до споживача [6]. Головна мета транспортування – доставити плоди до місця зберігання або реалізації з мінімальними втратами. Для перевезення плодів використовують причеми або спеціальні платформи.

Ефективність логістичних процесів у садівництві суттєво нівелюється значними часовими втратами: встановлено, що до 50% бюджету робочого часу транспортних засобів становлять простой в пунктах навантаження та розвантаження. Це не лише знижує продуктивність виконання робіт, а й впливає на збереження якісних показників продукції, зумовлюючи суттєві збитки. У структурі собівартості виробництва плодів частка транспортних витрат сягає 30-40%. Збільшення витрат на збирання плодової продукції (зокрема яблук) у поточному періоді обумовлене браком сезонного персоналу та посиленням інфляційного тиску на економіку садівничих підприємств [13].

Використання самохідних плодозбиральних платформ дозволяє досягти продуктивності на рівні 157–239 кг/год на одного збирача. Впровадження поточкових методів дозволяє мінімізувати частку ручної праці, що в структурі собівартості плодів становить 50-70%, а також забезпечує скорочення втрат стандартної продукції на 10-20% [2].

Проблемам механізації збирання, транспортування і товарної обробки плодів присвячено роботи низки вітчизняних учених, зокрема: В.П. Бабія, П.Г. Бондаренка, Я.І. Беренштейна, М.О. Демидка, І.С. Привалова та ін. Проте питання інтенсифікації поточкових методів у сучасному садівництві досі не знайшли належного відображення у вітчизняних наукових працях, що потребує розроблення відповідного методичного інструментарію.

Світовий та вітчизняний досвід доводять, що застосування спеціалізованих причепів-контейнеровозів і самохідних платформ мінімізує кількість операцій із перевантаження плодів, трансформуючи збирання врожаю в безперервний логістичний процес [16].

Попри наявність розроблених технічних рішень, залишається низка системних суперечностей, що обмежують ефективність потокового методу в господарствах. Зокрема, відчувається брак математичного обґрунтування моделей для синхронізації темпів роботи збиральних ланок із логістичним циклом руху контейнеровозів.

Традиційні методи збирання та товарної обробки передбачають 4-6 етапів перевантаження, що призводить до механічних пошкоджень 10-15% врожаю [2]. Водночас реалізація потокового методу на базі спеціалізованих транспортних засобів та ліній товарної обробки (ЛТО) дозволяє суттєво оптимізувати ці процеси. Застосування зазначеного підходу забезпечує зниження рівня травмування плодів до 2-3% та значне скорочення часового інтервалу доставки продукції з саду до плодосховища [11].

Відтак, удосконалення технологій та розроблення науково обґрунтованих систем їх функціонування, спрямованих на інтенсифікацію збирання та підвищення збереженості врожаю, є пріоритетним науково-практичним завданням».

Мета дослідження – розробка математичної моделі функціонування системи «сад – контейнеровоз – лінія товарної обробки» як системи масового обслуговування для встановлення раціонального співвідношення між продуктивністю роботи збирачів, кількістю збирально-транспортних засобів та пропускнуою здатністю лінії товарної обробки.

Матеріали та методи. У дослідження використано комплекс наукових методів, зокрема: абстрактно-логічний – для узагальнення теоретичних і методичних засад; монографічний – при опрацюванні емпіричної бази. Методологічну основу дослідження становлять принципи теорії масового обслуговування, зокрема багатоканальної системи масового обслуговування (СМО) з чергою (очікуванням).

Результати дослідження та обговорення. В основу зазначеної технології покладено застосування збирально-транспортного агрегату, що складаються з енергетичного засобу (трактора) та спеціалізованого причепа-контейнеровоза. Алгоритм реалізації безперевалочного потокового збирання передбачає чітку послідовність операцій.

Технологічний процес збирання плодів за поточною схемою реалізується у кілька етапів. На підготовчій стадії здійснюється завантаження порожньої тари на платформу контейнеровоза за допомогою вилчастого навантажувача. Після комплектування тарою агрегат спрямовується у міжряддя саду для виконання основної технологічної операції [10].

Процес знімання плодів здійснюється одночасно з двох суміжних рядів із безпосереднім заповненням встановленої тари. Для мінімізації дистанції переміщення врожаю збирально-транспортний агрегат виконує дискретне просування вздовж робочої зони, синхронізоване з інтенсивністю роботи збирачів. Після повного заповнення контейнерів агрегат транспортує продукцію до лінії товарної обробки (ЛТО) плодосховища для подальшого розвантаження (рис. 1).

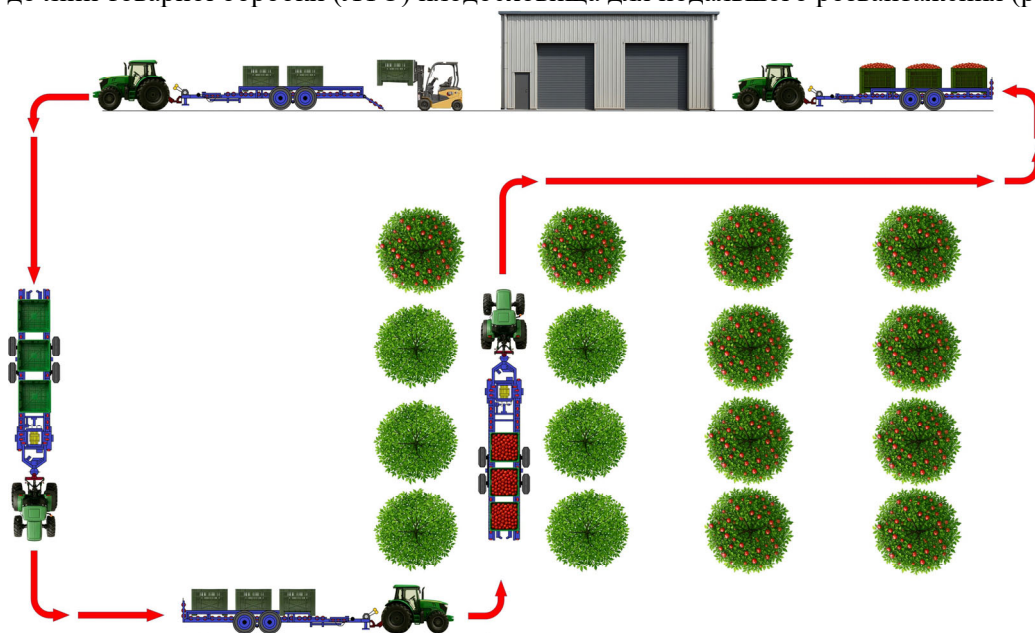


Рис. 1. Потокова технологія збирання, транспортування і товарної обробки плодів

Безперервність технологічного циклу забезпечується впровадженням принципу ротаційної заміни, що передбачає оперативне подання у робочу зону міжряддя збирально-транспортного засобу з порожньою тарою. Реалізація цієї моделі дає змогу мінімізувати непродуктивні витрати часу персоналу та техніки, сприяючи підвищенню загальної ефективності виробничого процесу.

Враховуючи стохастичну природу збирального процесу, надходження збирально-транспортних агрегатів до пунктів приймання продукції має ймовірнісний характер. З огляду на це, взаємодію контейнеровозів із лініями товарної обробки (ЛТО) доцільно моделювати з позицій теорії масового обслуговування. У межах такої системи (СМО) заповнені контейнеровози інтерпретуються як вхідний потік заявок, а приймальний вузол ЛТО – як канал обслуговування. Зазначений процес класифікується як багатофазна система з обмеженою чергою: у разі зайнятості каналу транспортні одиниці очікують початку обслуговування у сформованій черзі.

У процесі функціонування кількох збиральних ланок кожна з них генерує автономний потік наповнених контейнеровозів. Відповідно до граничних теорем теорії ймовірностей, сумарний потік, що замикається на ЛТО, при достатній кількості елементарних потоків апроксимується до найпростішого (пуассонівського) потоку. Це дозволяє застосовувати класичний математичний апарат теорії масового обслуговування для розрахунку параметрів системи [7].

Згідно з обраною моделлю, якщо в момент надходження нової заявки канал обслуговування вільний, її приймають негайно. У разі зайнятості каналу заявка стає в чергу з обмеженою кількістю місць ($m = \infty$). Параметри системи вважаються сталими ($\lambda = \text{const}, \mu = \text{const}$), що при $t \rightarrow \infty$ забезпечує встановлення в системі стаціонарного режиму [4].

Прийнято одноканальну систему СМО з обмеженою чергою, що має один канал ($i = 1$) обслуговування, на який поступає найпростіший потік заявок з інтенсивністю λ . Для потоку контейнеровозів наповнених плодами $\lambda = W_{36} / Q$ (заявки/годину), де W_{36} продуктивність ЛТО, а Q – вантажопідйомності контейнеровоза. Інтенсивність обслуговування заявок каналом становить μ . Обмеження черги $\delta = 2$ – за умови, що на території плодосховища є лише 2 місця в черзі.

За таких умов ймовірність того, що система вільна з обмеженою чергою $\delta = 2$ визначено за формулою [5]:

$$P_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{\lambda + \delta}} \quad (1)$$

де ρ – коефіцієнт завантаження $\rho = \lambda / \mu$ (інтенсивність навантаження) системи, причому умова існування стаціонарного режиму – ($\rho < 1$).

У системі з обмеженою чергою ймовірність обслуговування кожної заявки рівна одиниці ($i = 1$). Ймовірність того, що канал зайнятий (середня кількість зайнятих каналів), дорівнює $P_{з.к.} = \rho$.

Ймовірність відмови $P_{відм.}$ (відмова виникає тоді, коли зайнятий канал обслуговування і всі місця в черзі. Це стан системи коли $k = \delta + 1$).

Для оцінки логістичного ланцюга в садівництві, зокрема ефективності реалізації потокового збирання плодів, застосовано модель СМО з обмеженою довжиною черги (δ). Ймовірність відмови в обслуговуванні ($P_{відм.}$), що призводить до технологічних простоїв, визначено за формулою [3]:

$$P_{відм.} = \frac{\rho^{k+1}(1 - \rho)}{1 - \rho^{k+2}}, \quad (2)$$

де k – гранична кількість контейнеровозів, що можуть одночасно перебувати в зоні очікування. Результати аналізу свідчать, що для мінімізації ймовірності простоїв до рівня нижче критичного (наприклад $P_{відм.} < 0,05$) необхідно підвищити інтенсивність вивезення плодів або розширити зону накопичення (накопичувальний майданчик) у межах плодосховища.

Середній час очікування контейнеровоза в черзі:

$$\bar{t}_q = \frac{\rho^2}{\mu(1 - \rho)} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}. \quad (3)$$

Середній час перебування заявки в системі дорівнює:

$$t = \frac{1}{(\mu - \lambda)} \quad (4)$$

У межах досліджуваної СМО час перебування контейнеровозів у черзі теоретично є необмеженим. Проте зростання тривалості очікування безпосередньо зумовлює додаткову потребу в технічних засобах: для забезпечення безперервності збирального процесу в саду необхідно

збільшувати чисельність транспортного парку. Загальну потребу в контейнеровозах, з урахуванням часових втрат у черзі, розраховують за формулою:

$$k_{\text{заг}} = k_0 \left(1 + \frac{\delta}{k_0} \right), \quad (5)$$

де k_0 – середня кількість контейнеровозів, що перебувають в системі (один розвантажується та один, що в черзі $\delta = 2$)

$$k_0 = \frac{\rho}{1 - \rho},$$

Тривалість одного циклу:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{зб}} + t_{\text{тр.п}} + t_{\text{роз}} + t_{\text{пус}}, \quad (6)$$

де $t_{\text{зб}}$ – тривалість наповнення контейнеровоза плодами в саду;

$t_{\text{тр.п}}$ – тривалість руху до плодосховища;

$t_{\text{роз}}$ – тривалість обслуговування одного контейнеровоза в плодосховищі;

$t_{\text{пус}}$ – тривалість повернення в сад пустого контейнеровоза.

Для обґрунтування оптимальної кількості контейнеровозів, необхідної для забезпечення безперервності збирального процесу та ритмічного функціонування ЛТО, прийнято такі вихідні дані:

- в саду працює 3 бригади збирачів, по 8 працівників у кожній;
- вантажопідйомність одного контейнеровоза $Q = 2,4$ тони;
- плеча перевезень $L = 2,5$ км;
- середня швидкості руху транспортного агрегату $V = 15$ км/год;
- продуктивність одного збирача $W_{\text{зб}} = 0,2$ т/год;
- продуктивність роботи ЛТО складає 8,0 т/год.

Обґрунтування кількості контейнеровозів для забезпечення безперебійності роботи збирачів в саду роботи і ЛТО ґрунтується на тривалості повного циклу $t_{\text{ц}}$. Останній, у свою чергу, є комплексним показником, що залежить від плеча перевезень L , середньої швидкості руху транспортного агрегату V , вантажопідйомності контейнеровоза Q , продуктивності роботи збиральних ланок $W_{\text{зб}}$ лінії товарної обробки $W_{\text{ЛТО}}$. Ключову роль в цій залежності відіграє коефіцієнт завантаження ρ , який безпосередньо корелює з кількістю задіяних ланок n і пропускною здатністю ЛТО.

Варіант 1. Потокова логістична схема включає 3 бригади збирачів в саду, а контейнеровози доставляють зібрані плоди на сортування до ЛТО.

Для розрахунку кількості контейнеровозів в межах одноканальної СМО з обмеженою чергою, де заявкою прийнятій моделі є заповнений контейнеровоз, що прибуває з саду до ЛТО. Інтенсивність надходження заявок $\lambda = 2$ заявки/годину. Інтенсивність обслуговування заявок (тобто продуктивність роботи лінії $W_{\text{ЛТО}} = 8$ т/год) $\mu = 3,33$ заявки/годину. При цьому коефіцієнт завантаження системи $\rho = 0,6$, а ймовірність того, що канал вільний $P_0 = 40\%$. Середня кількість контейнеровозів, що перебувають у системі дорівнює 1,5 одиниці.

Для забезпечення безперервності технологічного циклу та недопущення простоїв збирачів в очікуванні порожньої тари, розрахункова чисельність парку контейнеровозів має враховувати одиниці, що перебувають у транзиті, під розвантаженням на ЛТО та в черзі. Враховуючи, що продуктивність збирання становить 4,8 т/год, а вантажопідйомність одного контейнеровоза - 2,4 т, у процесі навантаження постійно задіяно 2 одиниці техніки. Розрахункова кількість транспортних засобів, що перебувають під розвантаженням (з урахуванням імовірнісного часу очікування), становить 1,5 одиниці. Таким чином, сумарне середнє число контейнеровозів у системі становить $k_0 = 3,5$ одиниці.

Внаслідок дефіциту порожньої тари на кожному технологічному циклі фіксується вимушений простій бригад, що становить 15-20 хвилин. Для уникнення простоїв в системі, загальна кількість транспортних засобів потрібно буде $k_{\text{заг}} = 4$ одиниці, тоді час очікування бригад прямує до нуля, оскільки в системі є додатковий контейнеровоз, який підміняє той що затримався на ЛТО, ймовірно черги з трьох наповнених контейнеровозів не більше 8%.

Унаслідок дефіциту порожньої тари на кожному технологічному циклі фіксуються вимушені простой збиральних ланок тривалістю 15-20 хвилин. Для нівелювання цих втрат загальну чисельність транспортних засобів необхідно збільшити до $k_{\text{заг}} = 4$ одиниці. За таких умов час

очікування персоналу мінімізується (пряме до нуля), оскільки наявність додаткового контейнеровоза забезпечує ротаційну заміну одиниць, затриманих на ЛТО. При цьому ймовірність формування черги з трьох заповнених контейнеровозів не перевищує 8%.

Варіант II. Поточна логістична схема передбачає функціонування трьох збиральних ланок із подальшим транспортуванням плодів контейнеровозами до загального пункту приймання (плодосховища). Методика та вихідні дані розрахунку аналогічні *Варіанту I*, за винятком інтенсивності обслуговування $\mu = 5,0$ од./год, що визначається пропускною здатністю лінії розвантаження плодосховища $Q = 16$ т/год.

Інтенсифікація обслуговування (μ) з 3,33 до 5,0 од./год (на 50%) дозволила знизити ймовірність простою каналу до 40%, а тривалість перебування техніки в черзі - майже в 3,5 рази (з 27 до 8 хв). Це підтверджує високу чутливість логістичної системи до пропускної здатності ЛТО. Середня кількість контейнеровозів, що одночасно перебувають у системі, становить 0,42 од., тобто менше одиниці.

Порівняльний аналіз свідчить, що логістична схема з доставкою плодів безпосередньо до плодосховища (*Варіант II*) характеризується вищою стабільністю завдяки зростанню інтенсивності обслуговування. Це забезпечує мінімальний коефіцієнт завантаження системи ($\rho = 0,3$) та високу ймовірність вільного стану каналу розвантаження (70%), що практично нівелює ризик утворення черг.

Натомість включення лінії товарної обробки як безпосередньої ланки потоку (*Варіант I*) створює технологічне обмеження («вузьке місце») у логістичному ланцюзі. Через нижчу пропускну здатність ЛТО коефіцієнт завантаження зростає вдвічі (до $\rho = 0,6$), що зумовлює збільшення середньої кількості транспортних засобів у системі до 1,5 одиниць та підвищує ймовірність виникнення затримок.

Залежність середньої кількості одиниць контейнеровозів, що заходяться в черзі від коефіцієнта завантаження системи ρ наведений на рис. 2.

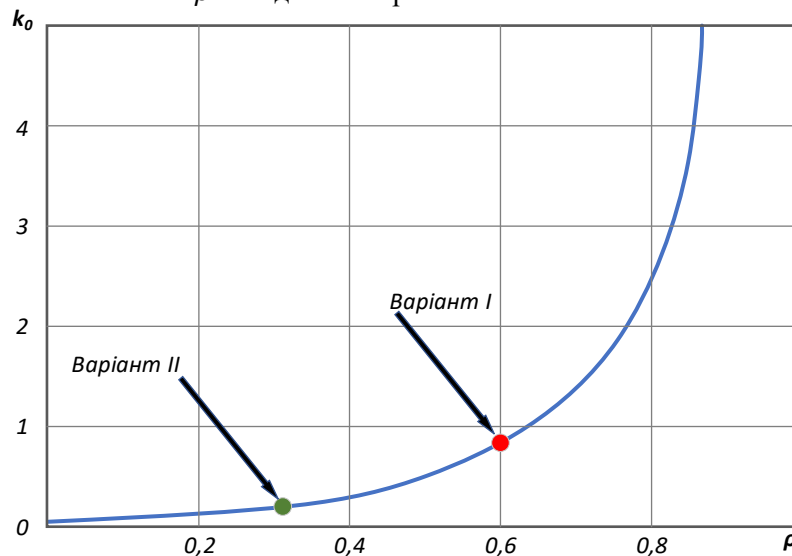


Рис. 2. Залежність середньої кількості одиниць контейнеровозів k_0 , що заходяться в черзі від коефіцієнта завантаження системи ρ : Варіант I ($\rho = 0,6$; $P = 0,9$); Варіант II ($\rho = 0,3$; $P = 0,13$)

Графік наочно демонструє, що після досягнення значення ($\rho > 0,7$) черга починає зростати нелінійною та стрімко зростати. Це означає, що навіть незначне збільшення інтенсивності збирання за недостатньої потужності лінії обробки призведе до порушення логістики.

Графічна інтерпретація результатів наочно демонструє, що при досягненні коефіцієнтом завантаження критичного значення ($\rho > 0,7$) довжина черги починає збільшуватися за нелінійною залежністю з тенденцією до стрімкого зростання. Це свідчить про те, що навіть незначне підвищення інтенсивності збирання за умови обмеженої потужності лінії обробки призведе до дестабілізації логістичного ланцюга.

Якщо *Варіант I* ($\rho = 0,6$), система працює на межі стабільності. Середня черга становить $P = 0,9$ одиниці (разом із розвантаженням у системі 1,5 од.). Це створює ризик простоїв збирачів у саду через дефіцит порожньої тари.

Якщо *Варіант II* ($\rho = 0,3$), система має значний запас міцності. Черга ($P = 0,13$ од.) практично відсутня, що гарантує безперебійність процесу.

Іншим критичним показником ефективності системи є середній час очікування в черзі. Встановлено, що він є функцією продуктивності ЛТО та загального завантаження системи (рис. 3). Зокрема підвищення ЛТО у поєднанні з мінімальним значенням ρ сприяє істотному скороченню часу перебування заявок у черзі.

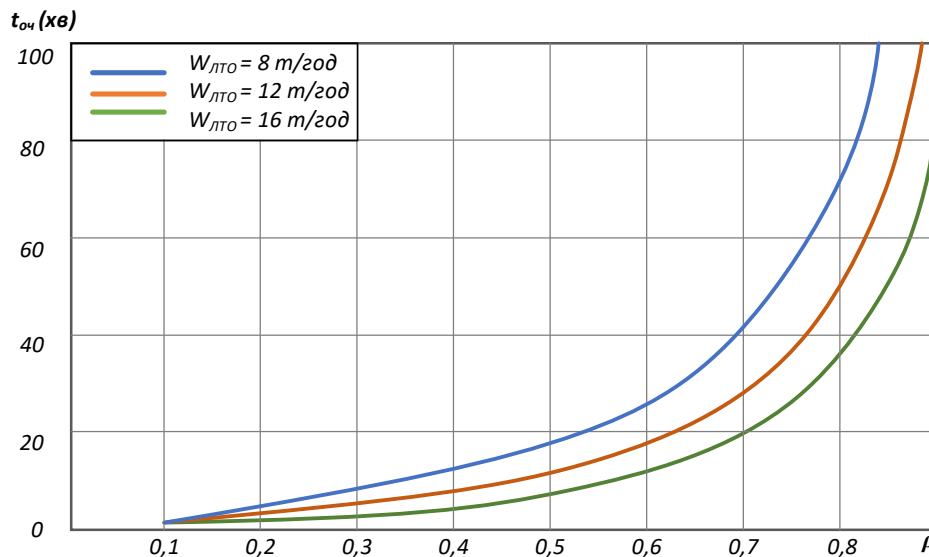


Рис. 3. Залежність середнього часу очікування в черзі $t_{оч}$ від продуктивності лінії товарної обробки $W_{ЛТО}$ і коефіцієнта завантаження системи ρ .

Аналіз графічних залежностей свідчить, що при наближенні коефіцієнта завантаження ρ до одиниці тривалість очікування зростає експоненціально. Це обґрунтовує необхідність залучення додаткового контейнеровоза (*Варіант I*, $\rho = 0,6$) для нівелювання ризику виникнення простоїв. Підвищення пропускної здатності лінії з 8 до 16 т/год (*Варіант II*) не лише безпосередньо скорочує час очікування, а й суттєво підвищує стійкість системи до випадкових затримок, про що свідчить більш пологий характер кривої.

Зокрема, при реалізації *Варіанта I* ($W_{ЛТО} = 8$, $\rho = 0,6$) розрахунковий час очікування становить приблизно 27 хвилин, тоді як у *Варіанті II* ($W_{ЛТО} = 16$, $\rho = 0,3$) цей показник скорочується до 8 хвилин.

Для забезпечення безперервності збирання ($P_{відм} < 0,05$) необхідно підтримувати баланс між кількістю техніки та пропускною здатністю ЛТО, інакше виникають черги, які призводять до фізіологічного псування плодів. Доцільно передбачити додатковий буферний запас порожньої тари в саду або збільшити кількість транспортних одиниць понад розрахункову. Це дозволить нівелювати розрив між темпом збирання та тривалістю логістичного циклу, забезпечуючи коефіцієнт готовності системи на рівні 0,95-0,98.

Висновки. Удосконалення потокової технології збирання та внутрішньогосподарського транспортування плодів із застосуванням математичного апарату теорії масового обслуговування дозволяє суттєво підвищити ефективність збиральної кампанії. Це досягається завдяки мінімізації кількості перевантажень, скороченню часу перебування продукції поза сховищем, зниженню рівня механічного травмування плодів та усуненню простоїв усіх технологічних ланок.

Встановлено, що для безперебійної роботи трьох збиральних бригад (при продуктивності ЛТО 8 т/год) розрахункова кількість контейнеровозів становить 4 одиниці. Наявність четвертого (додаткового) агрегату дозволяє повністю нівелювати 15-20-хвилинні простої персоналу, оскільки він виконує роль «буфера» під час затримок на етапі розвантаження.

Стабільність поточкових процесів забезпечується лише за умови, коли темп вивезення плодів перевищує темп їх збирання, а кількість збирально-транспортних агрегатів розрахована з урахуванням імовірності їх перебування в черзі.

Впровадження науково обґрунтованих потокових методів дозволяє скоротити втрати товарної продукції на 10-20% та суттєво зменшити частку ручної праці, яка в традиційних господарствах перевищує 50% у структурі собівартості.

Список використаних джерел:

1. Бабій П. Т. Механізація виробництва плодів та ягід / за ред. П. Т. Бабія. Київ : Урожай, 1980. 256 с.
2. Бондаренко П. Г. Особливості технологічного процесу та продуктивність праці при збиранні яблук різних сортів у інтенсивних насадженнях північної Італії // Вісник Уманського національного університету садівництва. 2025. № 1. С. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2025-1>
3. Донченко В. С., Сидоров М. В.-С. Теорія ймовірностей та математична статистика для соціальних наук : навч. посіб. Київ : ВПС Київський університет, 2015. 400 с.
4. Ефременко Р. О., Глушакова Г. Ю. Збірник вправ та задач з теорії марківських ланцюгів й теорії систем масового обслуговування. Харків : УкрДАЗТ, 2002. 45 с.
5. Катренко А. В. Дослідження операцій : підручник / за ред. В. В. Пасічника. 2-ге вид., випр. та доп. Львів : Магнолія, 2007. 480 с.
6. Комарова Н. В., Скрипник Л. Р., Камінецька О. В., Крупа Н. М. Сталій розвиток садівництва в Україні: екологічні та економічні аспекти // Агросвіт. 2025. № 4. С. 91–97. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.4.91>
7. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 141 с.
8. Мазнев Г. Є. Оптимізація збирально-транспортних комплексів методами теорії масового обслуговування // Вісник ХНТУСГ. 2013. Т. 2, вип. 93. С. 56–68.
9. Малогабаритні транспортні засоби для потокового збирання плодів в інтенсивних садах АТС–1, АТС–2 : протокол держ. прийм. випробувань № 03-007-10-1. Херсон : Південноукраїнська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. 37 с.
10. Мартишко В., Волянський М. Обґрунтування параметрів транспортного засобу для потокової технології збирання плодів // Техніка і енергетика. 2019. Т. 10, № 3. С. 39–44.
11. Привалов І. С., Петренко С. О., Соколов В. О., Ведмідь Д. М. Тенденції в удосконаленні технічних засобів для потокового збирання плодів в інтенсивних садах // Садівництво. 2012. Вип. 65. С. 235–240.
12. Сидорчук О. В., Дуганець В. І., Днесь В. І. Методи узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі оперативного їх планування // Східноєвропейський журнал передових технологій. 2012. № 1/10. С. 35–38.
13. Слепцова Л. Економіко-математичне моделювання оптимізації виробничих витрат у садівництві // Вісник аграрної науки. 2023. Т. 101, № 2. С. 72–77. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202302-10>
14. Demidko M., Martyshko B. Rationalisierung und Mechanisierung der Obsternte // Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR. Berlin, 1986. S. 115–117.
15. Saraf N., Gal B., Salzer Y. Modelling apple harvesting mechanization: labour efficiency, cost and decision support for platform adoption // Journal of ASABE. 2026. Vol. 69(1). P. 181–194. DOI: <https://doi.org/10.13031/ja.16431>
16. Van der Merwe G. The use of harvesting systems and labourer platforms in the South African deciduous fruit industry : MSc thesis. Stellenbosch University, 2015.
17. Zoth M. Ertragsoptimierung und Qualitätssicherung // Obstbau. 2014. № 4. S. 204–207.

Дата надходження статті до видання: 23.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.05.2026

Дата оприлюднення: 28.05.2026