

Serhii Tsymbal, Assoc. Prof., Candidate of Technical Sciences, Viktor Glynianyi

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

Modern Methods of Improving the Organization of Passenger Transport on Urban and subuRban Routes

The article examines approaches to increasing the efficiency of the integration of passenger transport systems, in particular intercity and local connections. The key problems associated with the insufficient development of infrastructure, inconsistency of transport services and the complexity of organizing transfers between different modes of transport are analyzed. Solutions for the development of transport nodes, optimization of the route network and improvement of interaction between different modes of transport are considered. Particular attention is paid to improving the quality of local transport services, in particular through integrated schedule planning, increasing the frequency of traffic and introducing direct connections. Measures to improve transfer points are highlighted, including infrastructure development, increasing the level of comfort and ensuring accessibility for all categories of passengers. Modern approaches to organizing ticketing and tariff policy are studied, in particular the introduction of integrated tickets, smart cards and digital services. Considerable attention is paid to information support, marketing strategies and the creation of a single information space for users of transport services. Organizational and regulatory measures aimed at coordinating the activities of various transport operators, developing partnerships and improving the industry management system are also considered. It is determined that the comprehensive implementation of infrastructure, technological and management solutions contributes to increasing the efficiency of the transport system, reducing travel time, reducing costs and improving passenger comfort and safety.

passenger transportation, transport integration, urban transport, suburban transport, multimodal transport, transport infrastructure, transfer hubs, ticketing systems, smart mobility, transport services

Одержано (Received) 04.04.2026

Прорецензовано (Reviewed) 06.04.2026

Прийнято до друку (Approved) 08.04.2026

УДК 65.012.34;004.42;631.2

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14\(45\).435-451](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).435-451)

О. А. Кислун, доц., канд. техн. наук, В. В. Аулін, проф., д-р техн. наук,

Ю. М. Пархоменко, доц., канд. техн. наук, С. В. Лисенко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: kyslun@gmail.com

Підвищення ефективності використання площ технологічних зон та оптимізація процесів і характеристик складської логістики сільськогосподарських підприємств

В роботі розглядається проблема оптимізації матеріальних потоків у сільськогосподарській сфері, зокрема в межах сортувально-складських технологічних зон простору. Обґрунтовано, що ефективне використання обмеженого простору складів, токів та елеваторів дозволяє зменшити витрати на їх утримання та суттєво знизити загальну собівартість кінцевої продукції. Для вирішення цієї багатокритеріальної логістичної задачі за допомогою обчислювальної техніки запропоновано синтез алгоритмів, що стануть основою програмного застосування для генерації організаційних рекомендацій. Розроблений комплекс складається з трьох взаємопов'язаних алгоритмів: пошуку оптимального поділу зони (з урахуванням непередбаченого резервування), визначення порядку завантаження та побудови послідовності доступу до об'єктів зберігання. Математична формалізація просторової задачі базується на застосуванні детермінованого матричного апарату (зокрема матриць M , Z , V , W , U), що дозволяє моделювати мапи зон, вільні проходи та розраховувати кроки шляху. Основна увага приділена алгоритму розбиття, який шляхом ітеративного перебору та розрахунку мап мінімальних відстаней до точок виходу і меж зони формує області постійного розміщення для різних сукупностей. Унікальною

© О. А. Кислун, В. В. Аулін, Ю. М. Пархоменко, С. В. Лисенко, 2026

особливістю алгоритму є механізм автоматичної генерації додаткових мереж обов'язкових проходів через визначення найвіддаленіших полюсів. Застосування запропонованої методології забезпечує максимальну завантаженість технологічної зони за рахунок економічно доцільного балансу між об'ємами постійних та змінних місць розташування.

складська логістика, сільськогосподарські технологічні зони, оптимізація розміщення, матрична модель простору, алгоритми завантаження, поділ зон зберігання

Постановка проблеми. Технологічний процес виробництва у сільськогосподарській сфері зумовлює необхідність формування певних матеріальних потоків. На практиці це реалізується через роботи сортувально-складського призначення на технологічних зонах, що зводяться до комплексної логістичної задачі: приймання, розміщення, зберігання та видачі об'єктів у зонах з обмеженим простором. Витрати на утримання технологічних зон (складів, токів, елеваторів) безпосередньо формують собівартість кінцевої продукції. З огляду на це, підвищення ефективності використання площ технологічних зон та оптимізація логістичних процесів є критично важливими, оскільки це прямо призводить до зменшення собівартості [1,2]. Актуальність цього дослідження зумовлена тим, що для вирішення багатовимірних логістичних задач вкрай доцільно застосовувати потужну обчислювальну техніку та новітні інформаційні технології. В той час, однак сучасний розвиток сільського господарства в контексті практичного впровадження відповідного програмного забезпечення все ще гостро потребує ґрунтовних методологічних розробок [3,4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема вдосконалення логістичних процесів та раціонального управління запасами в агропромисловому комплексі активно вивчається в сучасному науковому просторі [5]. Зокрема, у працях Величка О.П. [6] ґрунтовно розглядається необхідність переходу від ізольованих методів управління площами до інтегрованих логістичних систем в агробізнесі, що дозволяє виявити значні резерви для економії витрат. Вагомий внесок в дослідження інфраструктури зберігання сільськогосподарської продукції, зокрема функціонування технологічних зон та ефективності їх використання, здійснив Ніценко В.С. [7]. Сучасні аспекти створення гнучких логістичних мереж постачання в агросекторі, мінімізації витрат на просторове переміщення та використання інформаційних систем для відстеження логістичних потоків досліджуються у роботі Волощука М.В. [8].

Незважаючи на ґрунтовну теоретичну базу щодо логістичного управління процесами виробничих і транспортних підприємств, сучасний розвиток сільського господарства гостро потребує специфічних методологічних розробок для практичного впровадження програмного забезпечення. Більшість наявних рішень не враховують багатовимірність задачі динамічного поділу виробничого простору. Для визначення актуальних проблем у розв'язанні задачі синтезу алгоритмів розміщення, завантаження та доступу до об'єктів зберігання, доцільно детально проаналізувати питання оптимізації складського простору.

Проблеми багатоцільової оптимізації топології логістичного центру (зокрема ланцюга постачання) відображені в роботах [9, 10]. В цих роботах розглядалася мінімізація загальних витрат на внутрішньоскладські переміщення та максимізація суміжності споріднених робочих зон. В роботі [11] використовує удосконалений стохастичний евристичний алгоритм ройового інтелекту.

Завдяки розробленій математичній моделі [10] дослідникам вдалося теоретично знизити загальні логістичні витрати на 25,54% порівняно з початковим плануванням та покращити просторову кореляцію зон на 30%. Але недоліком запропонованої моделі є те, що такий метод оптимізації має імовірнісну (стохастичну) природу і призначений для макрозон із заздалегідь визначеною фізичною архітектурою, тобто жорстко регламентованими межами та стаціонарними коридорами. Алгоритм реалізації моделі є складно відтворюваним в умовах суцільного (неперервного) простору підлогового

зберігання на сільськогосподарських токах. В моделі повністю відсутній детермінований матричний апарат для динамічного розбиття площі, а також не передбачена генерація точок доступу для автоматичної розбудови мережі проходів у процесі завантаження.

Waubert P.C. [12] в своєму дослідженні пропонує підхід до розв'язання динамічної задачі розподілу місць зберігання (DSLAP) за допомогою глибокого навчання з підкріпленням (DRL). Алгоритм штучного інтелекту (ШІ) тренувався на масиві ретроспективних даних щодо операцій завантаження та вивантаження на складі протягом 14 місяців. Впровадження навченого DRL-агента дозволило знизити транспортні витрати всередині складської зони на 6,3% порівняно з класичним ручним ABC-аналізом.

Недоліком запропонованого способу є критична залежність від наявності великих масивів валідної ретроспективної інформації, що в мінливих агропромислових реаліях (змінна врожайність, непередбачувані затримки логістики з поля) робить його неефективним. Модель ШІ працює як чорна скринька в межах дискретної стелажної системи і не оперує поняттям запланованого резервування для непередбаченого випадку. Крім того, підхід ігнорує розрахунок точних мап найкоротших відстаней до змінних меж зони розміщення на базі матриць (M , Z), пропонуючи натомість імовірнісне прогнозування.

Benaglia M.F. та інші роботи [13], досліджує мінімізацію часу доступу до продукції з метою збереження її температурних характеристик. Автори обґрунтовують багатокритеріальну стратегію кластеризації об'єктів, що базується на об'ємах партії, частоті запитів та фізичній відстані до фіксованих зон комплектації. Отримані результати підтвердили, що такі стратегії розміщення зменшують час на збирання замовлень на 8% та скорочують час перебування персоналу у технологічних зонах із жорстким мікрокліматом до 22%.

Недоліком запропонованого способу є спрямоване на просторову кластеризацію вже наявних, жорстко стандартизованих одиниць (наприклад, палет), відстань для яких розраховується лише до фіксованих стаціонарних точок видачі. Алгоритм не здатен добудовувати мережу шляхів динамічно. Такий підхід не відповідає потребі формування логістичних маршрутів (алгоритм доступу) у технологічних зонах з гнучкими проходами, де мережа шляхів та точки доступу до масивів продукції змінюються під час поділу самої зони.

Fontana M.E. та інші [14], розглядають задачу призначення місць (SLAP) у технологічних зонах (складах) як багатовимірну NP-складну оптимізаційну проблему. Для її вирішення створено гібридний метод, що поєднує багатокритеріальний генетичний алгоритм (MOGA) із методами багатокритеріального прийняття рішень (MCDM). Розроблена модель ітеративно перебирає популяції потенційних рішень, формуючи оптимальний фронт Парето, що дозволяє операторам приймати кінцеві логістичні рішення з мінімальними витратами часу на розрахунки.

В той час генетичні алгоритми є обчислювально надлишковими для задач топологічного планування і генерують наближені рішення замість точного математичного синтезу. Алгоритм розраховує координати в дискретних комірках, не застосовуючи матричні мапи простору та не генеруючи векторні вимоги до постійних чи змінних локацій. В ньому повністю відсутня логіка прямого перерахунку ємностей областей під час поділу суцільної зони, що унеможлиблює його використання для оптимізації вільного об'єму (наприклад, складів підлогового типу).

Zarinchang A. та інші [15], описують розв'язання нелінійної задачі адаптивного розміщення товарів у великих логістичних центрах. Для пошуку балансу між швидкістю збору товару та безпекою переміщень застосовуються спеціалізовані евристики (метод імітації відпалу та алгоритм basin-hopping). Метод адаптивно

перепризначає місця зберігання під час поточної роботи складу, уникаючи заторів та максимізуючи загальну пропускну здатність технологічної зони.

При цьому застосування методу евристик локального пошуку є дієвим виключно для переміщення індивідуальних об'єктів в складній системі стелажів, але є принципово хибним шляхом для задачі розбиття порожньої площі на багатокутні області. Також даний метод ігнорує необхідність побудови обов'язкових проходів мережі на базі полюсів. Таким чином, проблема генерації шляхів для техніки у безперервному середовищі залишається невирішеною.

Наведений аналіз підтверджує, що сучасні наукові підходи переважно зосереджені на імовірнісних та евристичних методах для дискретних стелажних систем зберігання. Жоден з актуальних методів не пропонує детермінованого комплексу алгоритмів (поділу, завантаження та доступу) на основі матричного апарату, здатного оперувати генерацією полюсів, мережею змінних проходів та об'ємами непередбаченого резервування в умовах безперервних технологічних зон.

Постановка завдання. Метою роботи є синтез алгоритмів для створення програмного забезпечення, здатного генерувати інформаційні рекомендації для покращення роботи сортувально-складської технологічної зони в сільськогосподарській сфері. Кінцевою економічною метою є зменшення собівартості продукції за рахунок ефективної організації складської логістики.

Завдання дослідження:

- генерування алгоритму поділу технологічної зони розміщення між різними сукупностями вмісту, виходячи з їх кількості та необхідного об'єму для непередбаченого резервування;
- розробка алгоритму пошуку оптимального порядку завантаження елементів;
- синтез алгоритму побудови ефективної послідовності доступу до об'єктів зберігання;
- математична формалізація задачі з використанням матричного апарату (зокрема матриць M , Z , V , W , U) для побудови мапи зони, розрахунку найкоротших відстаней, шляхів завантаження та видачі;
- розробка логіки визначення постійних та змінних місць розташування для різних об'ємів сукупностей для досягнення максимальної завантаженості зони.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до поставленої мети зазначимо, що постає задача генерації трьох окремих алгоритмів, що пов'язані спільними даними: алгоритм пошуку оптимального розміщення, алгоритм завантаження та алгоритм доступу до об'єктів зберігання. Для задачі синтезу алгоритмів - наявна технологічна зона, що має деяку форму, опис якої представляється у вигляді матриці M . Вона інтерпретує мапу технологічної зони. Елемент з значенням не менше нуля позначає взятю до розгляду мінімально-значущу окрему область зони. Одиницею позначено першу від входу область, n - кількість областей для вмісту сукупностей, P - вектор розмірності n , в якому вказані замовлені об'єми областей розбиття зони (вектор NAME – їх назви). Матриця Z в результаті відпрацювання алгоритму вміщує номер області поділу, нуль - при необхідному вільному проході.

Аналогічно для задачі синтезу алгоритму пошуку порядку завантаження - технологічна зона, що має деяку форм, також описана у вигляді матриці M , що інтерпретує її мапу. Нульовим елементом матриці вмісту V позначено вільну область зони, d позначає приналежність елемент, що прибуває до відповідної сукупності або вказує область розміщення відповідно до розбиття зони. Матриця W в результаті відпрацювання алгоритму вміщує номери кроків шляху до кінцевого розташування елемента в області розміщення. У випадку внутрішньої перестановки використовується матриця U .

Для задачі синтезу алгоритму побудови послідовності доступу до об'єктів зберігання технологічна зона, що має деяку форму, також описана у вигляді матриці M , що інтерпретує її мапу. Все наступні позначення попередніх алгоритмів чинні

Розробимо алгоритм поділу технологічної зони розташування на області для окремих сукупностей. Спираючись на безумовні витрати на зміну місця розташування під час зберігання, зауважимо, що економічно доцільніше постійне місце розташування, проте загальна ефективність технологічної зони досягається за умов її максимальної завантаженості. Виходячи з цього неможливо забезпечити постійне місце розташування всього наявного об'єму, то виникає задача визначенням місць постійного розташування для окремих сукупностей та їх об'ємів, що можуть бути розміщені в зоні з умовою можливого переміщення. Укрупнений алгоритм при цьому представлено блок-схемою (рис. 1).

Можна бачити що вектор p рівний вектору P , завантажується як вимога незмінного розташування запланованого вмісту сукупностей для подальшої оптимізації розподілу елементів вказаних сукупностей технологічних зон, з позиції алгоритму розбиття зони заданих параметрів на відповідні області сукупностей для їх постійного розміщення, паралельно в вектор map завантажується вектор назв сукупностей NAME. Для співставлення оригінальних назв з об'ємами їхнього вмісту, для стиснення опису алгоритму в подальшому опускаються супроводжувальні перестановками вектора $name$, які ув'язуються до перестановки при суворому впорядкуванні вектора p .

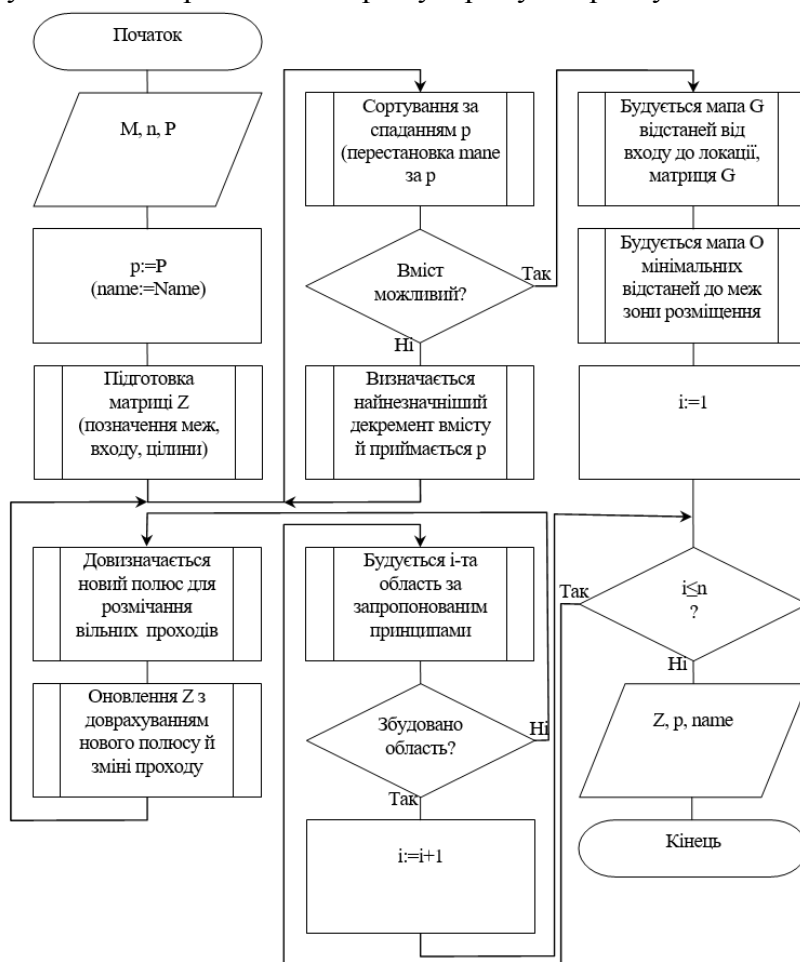


Рисунок 1 – Блок-схема укрупненого алгоритму поділу зони розташування на області постійного розміщення окремих сукупностей

Джерело: розроблено авторами

Початковою підготовкою є визначення матриці Z , якою було представлена мапа розбиття зони на області. Межі позначаються «-1» (в матриці M відповідно теж значення «-1»), нерозмічені мінімальні об'єми областей розбиття зони «-3» (в матриці M відповідно значення «0»). Нулем визначається елемент матриці Z , яким інтерпретовано першу від входу область (відповідно значення «1» в матриці M),

Упорядковується вектор p . Для узгодження розподілених даних перестановка елементів вектор p супроводжується переміщення відповідних елементи векторів назв N та вимог до вмісту сукупностей P . Це відбувається в порядку спадання по максимальній можливій величині вмісту області наявних для розміщення сукупностей вмісту. Також визначається загальний об'єм вмісту всіх сукупностей.

Визначається можливість вмісту намічених об'ємів сукупностей в наявний вільний простір для постійного розміщення. При неможливості вмісту, зменшується на один намічений об'єм сукупності (елемент вектора p_i), для якого в відсотковому відношенні зменшення об'єму від заданого буде мінімальною ($\min(((P_i - p_i)/P_i) \cdot 100\%)$). Після чого пошук розбиття проводиться з підготовки мапи розбиття.

Далі визначається найкоротша відстань до кожної точки технологічної зони від точки виходу - точок входу або наявного проходу. Будується мапа відстаней до конкретної точки ймовірного розміщення.

Будується мапа O мінімальних відстаней до меж зони розміщення.

Почергово перебираються впорядковані сукупності від найбільшої за об'ємом до найменшої. Для кожної вибраної знаходиться найдальша до виходу вільна (для якої не вказана належність до якої небудь іншої сукупності, раніше перебраної) точка (довільна з декількох рівновіддалених) й позначається, як область сукупності, що розглядається. По мапі відстаней до виходу в напрямку зменшення на 1 за мапою відстаней до меж (при наявній альтернативі - максимальне значення) з вільних точок позначається область сукупності, що розглядається. У випадку коли прохід області до виходу визначається, для об'єму сукупності що не вміщається в побудовану область, вона добудовується включенням суміжних точок до області в порядку найбільш віддалених по розміщенні до виходу (значення за відповідною мапою). Після вмісту сукупності в розмічену область, проходить вибір наступної для розміщення сукупності. У випадку коли не проходить приєднання області до виходу або розміщення об'єму, то проходить розрахунок розміщення додаткового обов'язкового проходу по зоні, для чого визначаються полюси найбільш віддалені від меж. Загалом їх може бути декілька рівноцінних за відстанню та ще й до того ж полюс може займати декілька теж рівноцінних точок, проте добудовується лише прохід до найближчої точки яка й приймається в якості кінця дуги мережі проходів. При додаванні нового полюса вже до наявної мережі, то всі проходи до полюсів перебудовуються при умові приєднання лише одного нового, а всі раніше визначені полюси зостаються й розглядаються при розрахунку як межі зони. При розбитті зони на області для розрахунків мап обов'язкові проходи мережі позначаються як точка виходу та розглядаються як межа зони для розрахунку мапи мінімальних відстаней до меж зони розміщення. Мережа проходів позначається в мапі розбиття нулем, вибраний полюс «-2».

Після відпрацювання перебору матриця Z , що являє собою мапу областей для розміщення елементів сукупностей з позиції оптимальності постійного розташування. В векторі p розміщено вимога до об'єму сукупностей, що ставилися на останньому етапі відпрацювання алгоритмом, проте загалом досягнутий розподіл, який представлено матрицею Z , вміщує вимогу тобто не менше, а отже може й перевищувати місткість областей, тож доцільно її відкоригувати шляхом прямого перерахунку наявних елементів матриці Z , що містять номерів цих областей. Різниця вимоги до результату $P - p$ - визначає об'єми сукупностей (кількість елементів відповідних сукупностей), що можуть вимагатися при максимальному запланованому

вмісту сукупностей і матимуть розміщення в місця змінно розташування, тобто, протягом терміну зберігання в певних випадках можливе їхнє переміщення.

Представимо алгоритм пошуку порядку завантаження для окремо взятого елемента визначеної сукупності. Спираючись на те, що зона розміщення вже може щось містити, то задача буде полягати в пошуку місця оптимальної дислокації а при необхідності ще й місця для переміщення його вмісту та шляхів переміщення. Укрупнений алгоритм завантаження представлено блок-схемою, (рис. 2).

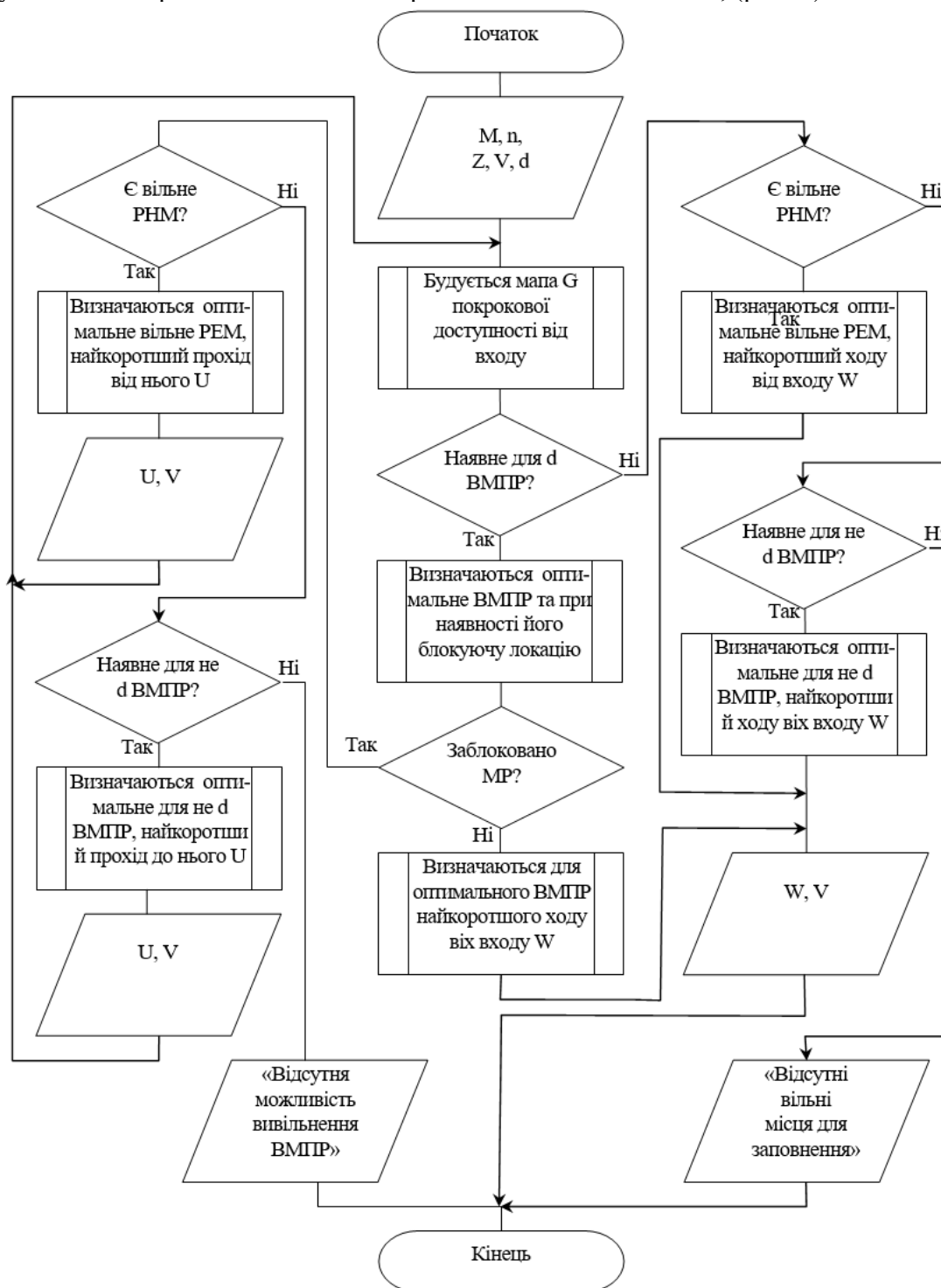


Рисунок 2 – Блок-схема укрупненого алгоритму завантаження

Джерело: розроблено авторами

Розглянемо більш детально побудову і реалізацію цього алгоритму.

Будується мапа покрокової доступності G для кожної з областей від входу та обов'язкового проходу для чого всі елементи матриці G початково визначаються «-1» - нерозмічені. Наступним кроком елемент матриці G , що відображає вхід перевизначається у нуль, в матриці M це позначення – один. Після чого по нульовим значенням матриці Z , якими позначаються вільні доступні проходи, в матриці G теж вони позначаються нулями. Побудова мапи - це лише перерахунок елементів матриці G , що вміщують значення «-1» по сусіднім до них, які вміщують найменші значення більші від «-1». Вони належать до однієї області (однакові значення номерів областей визначаються по елементам матриці Z) й визначаються як найменше сусіднє значення плюс один. Це інтерпретація послідовності крокування доступності по області з місця запланованого входу до області.

Наявність вільного місця визначеної області постійного розташування (ВМПР) перевіряється для прибулого елемента сукупності. Вільним місцем вважається й локація зайнята невідповідним для розташування об'єктом тимчасового розташування. При перебиранні елементарних локацій розміщення елемент матриці вмісту V не відповідає номеру розміщеної області, а елемент матриці номерів областей Z - номеру зони прибулого об'єкта. Це визначає або перевизначає по мапі покрокову доступність, та максимально можливу глибину розташування по області точки локації від точки доступності. У випадку наявності хоч би однієї локації (інтерпретація умові наявності постійного місця розміщення прибулого), будується мапа покрокового доступу від входу по незайнятим місцям L для кожної локації зони в цілому (без розмежувань на області виділені під сукупності). Якщо після її побудови існує така вільна локація області постійного розміщення прибулого об'єкта, що має визначену максимальну глибину (відповідне значення матриці G при значенні матриці вмісту V відповідному номеру області). Місце розміщення (MP) визначається по мапах L та G (мінімальне значення L та максимальне значення G) для невідповідного або вільного вмісту V . Мапа покрокового доступу будується матрицею W , в якій всі елементи спочатку визначаються нулем. Потім відшукана локація в матриці W визначається відповідним значенням матриці L , і після цього при переборі від наявного максимального значення в матриці W позначаються сусідні локації за переміщенням зі зменшенням на одиницю позначаються значення матриці W , що рівні матриці L , за зменшенням на один перебір триває до одиниці першого кроку в зоні. В матриці W покрокова мапа найкоротшого шляху до місця розміщення, що і є завершенням алгоритму завантаження. Після розміщення змінюється мапа вмісту V .

У випадку коли найоптимальніша локація для розміщення недоступна через тимчасове розташування інших об'єктів, умова відсутності доступу до постійної локації області розміщення прибулого об'єкта встановленої глибини визначається по мапах L та G (невизначених значень L більше одного, що розташовані по місцях максимального значення G для невідповідного або вільного вмісту V), визначається локація підлягає звільненню та шлях переміщення вмісту. Для вибору локації при звільненні визначаємо мапу кроків від локацій ймовірного розташування по області постійного розташування прибулого об'єкта представивши матрицею Q . Позначимо мінус одиницею всі елементи матриці Q , як не розмічені. Переберемо елементи матриці Q й для вільних та тимчасово зайятих локацій в області розташування прибулого об'єкта позначимо одиницею знайдені локації по відшуканій глибині розміщення в області. Після чого будуюмо мапу доступу від цих локацій по вільній або тимчасово зайнятій області постійного розміщення, перемітивши для кожного існуючого більшого від нуля Q переходу на вільну або тимчасово заняту локації по області тимчасового розміщення (по матрицям V та Z) на значення на один більше і так до тих пір поки є зміни. Після чого нулями перемічається матриця Q для елементів області постійного

розміщення прибулого об'єкта для елементів, що розмішені в досяжності переміщення, біля входу або вільного проходу (значення матриці Z нуль та мінус два) та доступу досяжності по області розміщення (нульове значення матриці Q). Локація для переміщення обирається за найменшим значенням матриці Q , що суміжне за можливим переміщенням до нульового значення цієї ж матриці Q . Локація кінцевого переміщення вибирається спочатку з області резервного нерозміченого для постійного розміщення (PHM), перевіряється наявність хоч би одного значення «-3» матриці Z при нульовому значенні вмісту V . При наявності, спочатку будується мапа глибини залягання локацій по нерозміченій області від проходів в якості матриці R , для чого спочатку, позначимо мінус одиницею всі елементи матриці R , як не розмішені. Переберемо елементи матриці R й для незайманих проходів (значення мінус два або нуль матриці Z) позначаємо нулем відповідне значення матриці R . Після чого, для кожної локації проходів та нерозміченій області в якій визначена глибина (значення Z не менше нуля) визначається глибина суміжної за доступом невизначеної локації на один більше. Після чого визначаємо найбільшу глибину розміщення вільної локації нерозміченій області. Будується мапа доступу від локації переміщення матриця T , початкове визначення «-1», як нерозмічено, одиницею позначено початкова локація переміщення, по вільним локаціям (нуль в матриці вмісту V), визначаємо для нерозмічених суміжних за доступом на одиницю більшим за значенням доступу. Місце кінцевого розташування визначається з умови найбільшої глибини розміщення в вільній локації нерозміченій області за найменшим значенням мапи переміщення T . Мапа покрокового переміщення будується матрицею U , в якій всі елементи спочатку визначаються нулем, потім відшукуються локації, які відповідають умові оптимального переміщення, що в матриці U визначається відповідним значенням матриці T , і після цього при переборі від наявного максимального значення в матриці U позначаються сусідні за переміщенням зі зменшенням на одиницю позначаються значення матриці U , що рівні матриці T , за зменшенням на один перебір триває до одиниці першого кроку в зоні. В матриці U покрокова мапа найкоротшого шляху до місць нового розміщення. Після прийнятого рішення, що до переміщення вмісту, що блокували постійного розміщення змінивши мапу вмісту V у відповідності до нових розміщень переходимо до повтору виконання алгоритму з початку (перебудову мапа покрокової доступності G можна загалом пропустити).

У випадку коли найоптимальніша локація для розміщення недоступна через тимчасового розташування інших об'єктів й відсутня вільна локація нерозміченій області. То визначається можливість переміщення в область розміщення інших сукупностей по умові наявності хоч би однієї вільної локації в інших областях розміщення (хоч би одна локація для якої існує нульовий вміст V в іншій області від області розміщення прибулого). Також, як і при переміщенні в нерозмічену область, вибирається локація для звільнення. Локація кінцевого переміщення вибирається спочатку з областей постійного розташування по максимальній глибині доступності в області. Для чого визначаємо максимальна доступна глибина по всіх областях крім області прибулого. По аналогії пошуку при переміщенні в нерозмічену область, будується мапа доступу від локації переміщення матриця T , початкове визначення «-1», як нерозмічено, одиницею позначено початкова локація переміщення, по вільним локаціям (нуль в матриці вмісту V), визначаємо для нерозмічених суміжних за доступом на одиницю більшим за значенням доступу. Місце кінцевого розташування визначається з умови найбільшої глибини розміщення в інших розмічених областях G за найменшим значенням мапи переміщення T . Мапа покрокового переміщення будується матрицею U , в якій всі елементи спочатку визначаються нулем, потім відшукуються локації, які відповідають умові оптимального переміщення, що в матриці U визначається відповідним значенням матриці T , і після цього при переборі від

наявного максимального значення в матриці U позначаються сусідні за переміщенням зі зменшенням на одиницю позначаються значення матриці U , що рівні матриці T , за зменшенням на один перебір триває до одиниці першого кроку в зоні. В матриці U покрокова мапа найкоротшого шляху до місць нового розміщення. Після прийнятого рішення, що до переміщення вмісту, що блокували постійне розміщення змінивши мапу вмісту V у відповідності до нових розміщень переходимо до повтору виконання алгоритму з початку (перебудову мапа покрокової доступності G можна загалом пропустити).

У випадку коли відсутні вільні локації для переміщення - визначається стан критичного заповнення зони, що не може бути досягнуто при роботі алгоритму з вмістом, що не перевищує заповнення постійного розташування.

У випадку коли для розміщення прибулого відсутнє місце для постійного розміщення, то визначається наявність локації в області резервного нерозміченого для постійного розміщення (перевіряється наявність хоч бо однієї до якої виконується умова (наявність нуля в мапі вмісту V та наявність «-3» мати поділу областей Z - нерозмічену область). Після чого визначаємо найбільшу глибину розміщення вільної локації нерозміченій області. Будується мапа доступу від входу матриця Q , початкове визначення «-1», як нерозмічено, одиницею позначено локація входу, по вільним локаціям (нуль в матриці вмісту V), визначаєм для нерозмічених суміжних за доступом на одиницю більшим за значенням доступу. Місце кінцевого розташування визначається з умови найбільшої глибини розміщення в вільній локації нерозміченій області за найменшим значенням мапи переміщення Q . Мапа покрокового переміщення будується матрицею W , в якій всі елементи спочатку визначаються нулем, потім відшукуються локації, які відповідають умові оптимального переміщення, що в матриці W визначається відповідним значенням матриці Q , і після цього при переборі від наявного максимального значення в матриці W позначаються сусідні за переміщенням зі зменшенням на одиницю позначаються значення матриці W , що рівні матриці Q , за зменшенням на один перебір триває до одиниці першої локації від входу в зону. В матриці W покрокова мапа найкоротших шляхів до місць розміщення. Після розміщення змінюється мапа вмісту V .

У випадку коли для розміщення прибулого відсутні місця для постійного розміщення чи розміщення в області резервного нерозміченого для постійного розміщення, то визначається наявність локації для розміщення в областях постійного розміщення інших сукупностей (перевіряється наявність хоч би однієї локації для якої виконується умова наявність нуля в мапі вмісту V та наявність значення більшого від нуля для мати поділу областей Z - всі зони, можна не виключати заповнену для сукупності розміщення прибулого). Після чого визначаємо найбільшу глибину розміщення вільної локації у всій розміченій області. Будується мапа доступу від входу матриця Q , початкове визначення «-1», як нерозмічено, одиницею позначено локація входу, по вільним локаціям (нуль в матриці вмісту V), визначаєм для нерозмічених суміжних за доступом на одиницю більшим за значенням доступу. Місце кінцевого розташування визначається з умови найбільшої глибини розміщення локації в розмічених областях за найменшим значенням мапи переміщення Q . Мапа покрокового переміщення будується матрицею W , в якій всі елементи спочатку визначаються нулем, потім відшукуються локації, які відповідають умові оптимального переміщення, що в матриці W визначається відповідним значенням матриці Q , і після цього при переборі від наявного максимального значення в матриці W позначаються сусідні за переміщенням зі зменшенням на одиницю позначаються значення матриці W , що рівні матриці Q , за зменшенням на один перебір триває до одиниці першої локації від входу в зону. В матриці W покрокова мапа найкоротших шляхів до місць розміщення. Після розміщення змінюється мапа вмісту V .

В усіх інших випадках вільні локації для розміщення крім локацій проходів просто відсутні, й визначається стан повного планового заповнення зони.

Розробимо алгоритм доступу до об'єктів зберігання. Спираючись на те, що доступ можна розглядати, як вибір послідовний та випадковий відповідно сукупностей, алгоритм будемо за умови намагання пріоритетного розміщення по областях постійного розташування. Тобто першочерговим є вивільнення локацій незапланованого розміщення, потім нерозмічений областей і в останню чергу місць постійного розташування

Блок-схема укрупненого алгоритму доступу до об'єктів зберігання (рис. 3).

Представленим нижче описом розглянемо його більш детально.

Визначається наявність об'єкта в області незапланованого розміщення (значення в карті вмісту V не відповідає області розміщення. Після чого будується мапа глибини доступу локацій до проходів по областях постійного розміщення для сукупностей H , для чого спочатку всі елементи матриці H визначаються «-1». Елементи матриці H , відповідають локаціям з пошуковим вмістом позначаються одиницею, після чого по області розміщення будується мапа кроків від елементів по областях розміщення H визначаючи по суміжному переміщенні збільшений на один до початкового. Завершення побудови визначається по відсутності змін при повному переборі H . Далі будується мапа покрокової доступності від входу G . Визначається, локація з найменшим значенням карти кроків від елементів по областях розміщення H , де існує суміжна по переміщенні в заданій області локація з більшою від 0 найменшою кількістю кроків. У випадку коли, визначена локація вміщує об'єкт запиту то в мапі покрокової доступності від входу G задається значення на одиницю більше від найменшого суміжного, і будується мапа покрокового найкоротшого переміщення W (початково всі елементи W визначаються нулем) прийнявши для визначеної локації значення W рівне відповідному G , і після цього при переборі від наявного максимального значення в матриці W позначаються сусідні за переміщенням зі зменшенням на одиницю позначаються значення матриці W , що рівні матриці G , за зменшенням на один перебір триває до одиниці першої локації від входу в зону. В матриці W покрокова мапа найкоротших шляхів до місць розміщення об'єкту. Після вивільнення змінюється мапа вмісту V .

У випадку коли безпосередній доступ до об'єкту, який вибрано на відвантаження, неможливий з тих чи інших причин, проходить спроба звільнення деякої визначеної локації під прохід для доступу до іншої локації або безпосередньо під розрахункове оптимальне за алгоритмом розміщення, при цьому можливі наступні випадки з пріоритетом їх реалізації: переміщення в область резервного нерозміченого для постійного розміщення; переміщення в область постійного розміщення для тимчасового розташування невідповідного об'єкта, як для області розміщення та виявлення неможливості звільнення локації за наявних умов завантаження зони.

У випадку коли визначена локація не вміщує потрібний об'єкт а потребує вивільнення, то першочергово, вибирається локація кінцевого переміщення з області резервного нерозміченого для постійного розміщення, перевіряється наявність хоч би одного значення «-3» матриці Z при нульовому значенні вмісту V . При наявності, спочатку будується мапа глибини залягання локацій по нерозміченій області від проходів в якості матриці R , для чого спочатку, позначимо мінус одиницею всі елементи матриці R , як не розмічені. Переберемо елементи матриці R й для незайманих проходів (значення мінус два або нуль матриці Z) позначаємо нулем відповідне значення матриці R .

Після чого, для кожної локації проходів та нерозміченій області в якій визначена глибина (значення Z не менше нуля) визначається глибина суміжної за доступом невизначеної локації на один більше. Після чого визначаємо найбільшу глибину розміщення вільної локації нерозміченій області. Будується мапа доступу від локації

переміщення матриця T , початкове визначення «-1», як нерозмічено, одиницею позначено початкова локація переміщення, по вільним локаціям (нуль в матриці вмісту V), визначаєм для нерозмічених суміжних за доступом на одиницю більшим за значенням доступу.

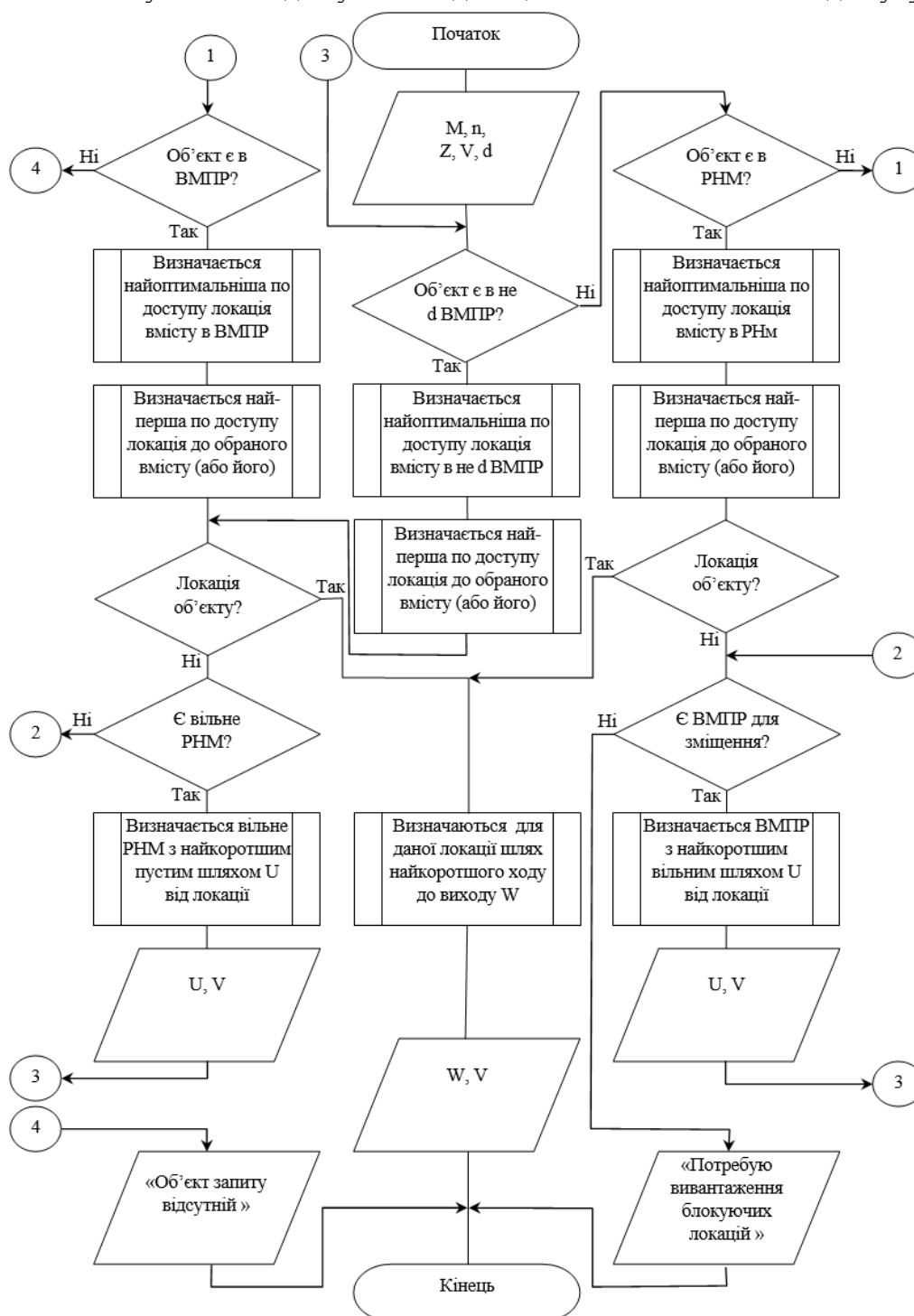


Рисунок 3 – Блок-схема укрупненого алгоритму доступ до об'єктів зберігання

Джерело: розроблено авторами

Місце кінцевого розташування визначається з умови найбільшої глибини розміщення в вільній локації нерозміченій області за найменшим значенням мапи переміщення T . Мапа покрокового переміщення будується матрицею U , в якій всі

елементи спочатку визначаються нулем, потім відшукуються локації, які відповідають умові оптимального переміщення, що в матриці U визначається відповідним значенням матриці T , і після цього при переборі від наявного максимального значення в матриці U позначаються сусідні за переміщенням зі зменшенням на одиницю позначаються значення матриці U , що рівні матриці T , за зменшенням на один перебір триває до одиниці першого кроку в зоні. В матриці U покрокова мапа найкоротшого шляху до місць нового розміщення. Після прийнятого рішення, що до переміщення вмісту, що блокував доступ до розміщення змінивши мапу вмісту V у відповідності до нових розміщень переходимо до повтору виконання алгоритму з початку. (Зауваження дана частина алгоритму, що стосується організації переміщення аналогічна при переміщенні під час завантаженні).

У випадку коли визначена локація не вміщує потрібний об'єкт а потребує вивільнення при цьому відсутні вільні локації області резервного нерозміченого місця, то визначається можливість переміщення в область розміщення інших сукупностей по умові наявності хоч би однієї вільної локації в інших областях розміщення (хоч би одна локація для якої існує нульовий вміст V в іншій області від області розміщення, що вивільнюється). Також, як і при переміщенні в нерозмічену область, вибирається локація для звільнення. Локація кінцевого переміщення вибирається спочатку з областей постійного розташування по максимальній глибини доступності в області. Для ого визначаємо максимальна доступна глибина по всіх областях крім області, що вивільнюється. По аналогії пошуку при переміщенні в нерозмічену область, будується мапа доступу від локації переміщення матриця T , початкове визначення «-1», як нерозмічена, одиницею позначено початкова локація переміщення, по вільним локаціям (нуль в матриці вмісту V), визначаєм для нерозмічених суміжних за доступом на одиницю більшим за значенням доступу. Місце кінцевого розташування визначається з умови найбільшої глибини розміщення в інших розмічених областях за найменшим значенням мапи переміщення T . Мапа покрокового переміщення будується матрицею U , в якій всі елементи спочатку визначаються нулем, потім відшукуються локації, які відповідають умові оптимального переміщення, що в матриці U визначається відповідним значенням матриці T , і після цього при переборі від наявного максимального значення в матриці U позначаються сусідні за переміщенням зі зменшенням на одиницю позначаються значення матриці U , що рівні матриці T , за зменшенням на один перебір триває до одиниці першого кроку в зоні. В матриці U покрокова мапа найкоротшого шляху до місць нового розміщення. Після прийнятого рішення, що до переміщення вмісту, що блокували постійного розміщення змінивши мапу вмісту V у відповідності до нових розміщень переходимо до повтору виконання алгоритму з початку.

У випадку потреби звільнення локації неможливе переміщення ні до області резервного нерозміченого для постійного розміщення, ні до області постійного розміщення для тимчасового розташування невідповідного об'єкта то виявляється неможливості звільнення локації й за наявних умов завантаження зони, як результат подається локація, що не може бути перенесена.

Після виявлення відсутності об'єкту, що потребує видачі, в областях постійного розміщення з невідповідним області розміщенням, пошук цього об'єкта продовжується в області резервного нерозміченого для постійного розміщення. Визначається наявність об'єкта в області резервного нерозміченого для постійного розміщення по значенню номера сукупності в мапі вмісту V та значенням «-3» в мапі розбиття Z . Після чого будується мапа H глибини доступу локацій до проходів по резервній нерозміченій області, для чого спочатку всі елементи матриці H визначаються «-1». Елементи матриці H , відповідають локаціям з пошуковим вмістом позначаються одиницею, після чого по області розміщення будується мапа кроків від елементів по резервній

нерозміченій області, визначаючи H по суміжному переміщенні збільшений на один до початкового. Завершення побудови визначається по відсутності змін при повному переборі H . Далі будується мапа покрокової доступності від входу G . Визначається, локація з найменшим значенням карти кроків від елементів по областях розміщення H , де існує суміжна по переміщенні в заданій області локація з більшою від 0 найменшою кількістю кроків. У випадку коли, визначена локація вміщує об'єкт запиту то в мапі покрокової доступності від входу G задається значення на одиницю більше від найменшого суміжного, і будується мапа покрокового найкоротшого переміщення W (початково всі елементи W визначаються нулем) прийнявши для визначеної локації значення W рівне відповідному G , і після цього при переборі від наявного максимального значення в матриці W позначаються сусідні за переміщенням зі зменшенням на одиницю позначаються значення матриці W , що рівні матриці G , за зменшенням на один перебір триває до одиниці першої локації від входу в зону. В матриці W покрокова мапа найкоротших шляхів до місць розміщення об'єкту. Після вивільнення змінюється мапа вмісту V . У випадку невідповідності вмісту відшуканої локації запиту на видачу, визначається необхідність переміщення вмісту цієї локації, по алгоритму перехід до випадку потреби вивільнення локації переміщенням в області, що призначені для постійного розміщення сукупностей (проте це тимчасове розміщення невідповідних об'єктів).

Після виявлення відсутності об'єкту, що потребує видачі, поза межами області його постійного розміщення, перевіряється його наявність в цій області і в випадку наявності відпрацьовує алгоритму аналогічне до діставання з областей постійного розміщення при незапланованому розташуванні, з тією відміною, що до розгляду береться область постійного розташування (або можна всі, бо незаплановані області все одно нічого не вміщують). Відсутність об'єкта в розглянутих областях визначає неможливість виконання запиту на видачу, що й подається як результат.

Загалом алгоритми можуть бути використані для автоматичних систем складського призначення, і при умові їх використання в режимі завантаження лише областей постійного розміщення не можуть бути загнані в стан нерозв'язувальної задачі доставки при умові заборони вивантажені з зони зберігання вмісту для доступу по запит.

Висновки.

1. Обґрунтовано потребу в алгоритмізації логістичних процесів АПК. Доведено, що управління просторовим розміщенням, зберіганням та видачею об'єктів у зонах з обмеженим простором безпосередньо впливає на формування собівартості кінцевої продукції. Відсутність ґрунтовних методологічних розробок для сучасних програмних застосунків стримує оптимізацію цих процесів, що зумовило необхідність створення спеціалізованого математичного апарату.

2. Для вирішення логістичної задачі розроблено систему з трьох взаємопов'язаних алгоритмів: поділу технологічної зони (з урахуванням максимально можливого запланованого резервування для непередбачених випадків), пошуку оптимального порядку завантаження та побудови ефективної послідовності доступу до об'єктів зберігання.

3. Розроблено детерміновану математичну модель, яка описує форму та стан технологічної зони через систему матриць (M , Z , V , W , U). Цей апарат дозволяє точно розраховувати мапи мінімальних відстаней до точок виходу та меж зони, а також фіксувати кроки шляху до кінцевого розташування елементів.

4. Створено алгоритм, який ітеративно перебирає сукупності за об'ємом і формує області постійного розміщення. Відмінною рисою методу є механізм автоматичної розбудови мережі обов'язкових проходів за допомогою визначення найвіддаленіших точок - полюсів. При цьому полюси та проходи динамічно враховуються як нові межі та точки виходу під час розрахунку подальшого розбиття площі.

5. Для забезпечення економічної доцільності розподілу алгоритм дозволяє досягти максимальної завантаженості зони шляхом прямого перерахунку наявних елементів та знаходження балансу між об'ємами сукупностей, що потребують постійного місця розташування, і тими, що можуть розміщуватися в зонах змінного (тимчасового) розташування.

6. Запропонована методологія є готовим базисом для створення програмного застосунку, який генеруватиме управлінські рекомендації. Практичне впровадження цих розробок дозволить оптимізувати складську логістику сільськогосподарських підприємств та суттєво зменшити собівартість кінцевої продукції.

Список літератури

- 1 Городецька Т. Е., Балюк А. В. Роль транспортних підприємств у формуванні ефективної логістики аграрного сектору. *Актуальні проблеми інноваційної економіки та права*. 2025. № 2. С. 79-84. URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/2fff4eaa-f18d-4787-af56-07dd88478170/content>
- 2 Нечипоренко К. В. Проблеми розвитку транспортної логістики сільськогосподарських товаровиробників. Збірник наукових праць. Луцький національний технічний університет. *Економічні науки. Серія «Облік і фінанси»*. 2013. Вип. 10(37). С. 40-46.
- 3 Неустроев Ю.Г. Роль інформаційних технологій у забезпеченні економічної безпеки країни. Економічна наука. *Інвестиції: практика та досвід* № 8/2021. С. 40-44. DOI: 10.32702/2306-6814.2021.8.40
- 4 Павлюк Т., Волонтир Л. Використання сучасних інформаційних технологій в сільському господарстві. *Формування ринкової економіки в Україні*. 2017. № 38. С. 122-127.
- 5 Аулін В. В., Митник М. М., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Цьонь О. П., Лисенко С. В., Гудь В. З., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Бабій М. В. Формування та функціонування логістичних центрів в регіональних транспортно-логістичних системах України: монографія за заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В. В., д.т.н., проф. Ляшука О. Л. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2024. 393 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48357>
- 6 Величко О.П. Логістичні підходи до управління запасами засобів захисту рослин. *Інвестиції: практика та досвід*. 2011. № 9. С. 39-41. URL: http://www.investplan.com.ua/pdf/9_2011/12.pdf
- 7 Ніценко В.С. Зернові елеватори: стан та інвестиційні горизонти. *Вісник ХНАУ [Серія «Економічні науки»]*. Харків: ХНАУ. 2012. № 10. С. 122-133.
- 8 Волощука М.В. Логістичні механізми забезпечення стійкості та інноваційного розвитку виробничого потенціалу підприємств. *Економіка*, №02(217)/2026. С. 28-39. DOI: 10.20998/2313-8890.2026.02.03
- 9 Оптимізація параметрів надійності та ефективності виробничих систем і автоматизованих ліній методами штучного інтелекту : монографія / В. В. Аулін, С. Г. Ковальов, Ю. Г. Ковальов, А. В. Гриньків ; за заг. ред. д.т.н., проф. В. В. Ауліна. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2026. 232 с.
- 10 Li J., Zhou Q. Cold chain logistics center layout optimization based on improved dung beetle algorithm. *Symmetry* 2024, 16(7), 805. <https://doi.org/10.3390/sym16070805>
- 11 Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем: монографія; під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/11251>
- 12 Waubert de Puiseau, C.; Nanfack, D.T.; Tercan, H.; Löbber-Plattfaut, J.; Meisen, T. Dynamic storage location assignment in warehouses using deep reinforcement learning. *Technologies* 2022, 10(6), 129. <https://doi.org/10.3390/technologies10060129>
- 13 Benaglia M.F., Chen M.H., Lu Sh.H., Tsai K.M., Hung Sh.H. Improving the picking efficiency of a cold warehouse to avoid temperature abuse. *The International Journal of Logistics Management*. 2024. 35 (5): 1434–1464. <https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2023-0044>
- 14 Fontana, M., Nepomuceno, V. & Garcez, T. (2020). A hybrid approach development to solving the storage location assignment problem in a picker-to-parts system. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*. 17. 1-14. DOI: 10.14488/BJOPM.2020.005
- 15 Zarinchang A. and other. Adaptive warehouse storage location assignment with considerations to order-picking efficiency and worker safety. *Journal of Industrial and Production Engineering*. 2024. Vol. 41, Issue 1. <https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2263009>

References

1. Horodetska, T.E., Baliuk, A.V. (2025). The role of transport enterprises in the formation of efficient logistics in the agricultural sector. *Current issues of innovative economy and law*. № 2, 79-84. [in Ukrainian]. URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/2ff4eaa-f18d-4787-af56-07dd88478170/content>
2. Nechyporenko, K.V. (2013). Problems of transport logistics development for agricultural producers. *Zbirnyk naukovykh prats. Collection of Scientific Papers. Lutsk National Technical University. Economic Sciences. Series "Accounting and Finance"*, 10(37), 40-46. [in Ukrainian].
3. Neustroiev, Yu.H. (2021). The role of information technologies in ensuring the economic security of the country. *Economic science. Investments: practice and experience*, Issue 8, 40-44. [in Ukrainian]. DOI: 10.32702/2306-6814.2021.8.40
4. Pavliuk, T., & Volontyr, L. (2017). The use of modern information technologies in agriculture. *Formation of market economy in Ukraine*, Issue 38, 122-127. [in Ukrainian].
5. Aulin, V. V., Mytnyk, M. M., Lyashuk, O. L., Hevko, I. B., Tsyon, O. P., Lysenko, S. V., Gud, V. Z. et al. (2024). Formation and functioning of logistics centers in regional transport and logistics systems of Ukraine: monograph edited by Dr. of Engineering, Prof. Aulin V. V., Dr. of Engineering, Prof. Lyashuk O. L. Ternopil: FOP Palyanytsia V. A., <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48357>
6. Velychko, O. P. (2011). Logistics approaches to managing stocks of plant protection products. *Investytsii: practice and experience*, Issue 9, 39-41. [in Ukrainian]. URL: http://www.investplan.com.ua/pdf/9_2011/12.pdf
7. Nitsenko, V. S. (2012). Grain elevators: state and investment horizons. *Bulletin of KhNAU. Economic Sciences Series*, Issue 10, 122-133. [in Ukrainian].
8. Voloshchuk, M. V. (2026). Logistics mechanisms for ensuring the sustainability and innovative development of the production potential of enterprises. *Economics*, Issue 2(217), 28-39. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2026.02.03>
9. Aulin, V. V., Kovalev, S. G., Kovalev, Yu. G., & Grinkiv, A. V. (2026). Optimization of reliability and efficiency parameters of production systems and automated lines using artificial intelligence methods: monograph. V. V. Aulin (Ed.). Kropyvnytskyi: Publisher Lysenko V.F.
10. Li, J., & Zhou, Q. (2024). Cold chain logistics center layout optimization based on improved dung beetle algorithm. *Symmetry*, 16(7), 805. <https://doi.org/10.3390/sym16070805>
11. Aulin V.V., Hryniv A.V., Lysenko S.V., Holovaty A.O., Holub D.V. Theoretical and methodological foundations of logistics of transport and production systems / monograph under the general editorship of Dr. of Engineering, Prof. Aulin V.V. – Kropyvnytskyi: Publisher Lysenko V.F., 2021. – 503 p. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/11251>
12. Waubert de Puiseau, C., Nanfack, D.T., Tercan, H., Löbber-Plattfaut, J., Meisen, T. (2022). Dynamic storage location assignment in warehouses using deep reinforcement learning. *Technologies*, 10(6), 129. <https://doi.org/10.3390/technologies10060129>
13. Benaglia, M.F., Chen, M.H., Lu, Sh.H., Tsai, K.M., Hung, Sh.H. (2024). Improving the picking efficiency of a cold warehouse to avoid temperature abuse. *The International Journal of Logistics Management* 35 (5): 1434–1464. <https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2023-0044>
14. Fontana, M., Nepomuceno, V. & Garcez, T. (2020). A hybrid approach development to solving the storage location assignment problem in a picker-to-parts system. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*. 17. 1-14. DOI: 10.14488/BJOPM.2020.005
15. Zarinchang, A. and other. (2024). Adaptive warehouse storage location assignment with considerations to order-picking efficiency and worker safety. *Journal of Industrial and Production Engineering*, Vol. 41, Issue 1. <https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2263009>

Oleh Kyslun, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Victor Aulin**, Prof., Doctor of tech. sci., **Yurii Parkhomenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Lysenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Increasing the Efficiency of Technological Space Utilization and Optimizing the Processes and Characteristics of Agricultural Enterprise Warehouse Logistics

The presented study investigates the problem of optimizing material flows in agricultural production, where the technological process inevitably requires the effective implementation of sorting and warehousing operations. It is substantiated that the maintenance costs of such technological zones as warehouses, threshing floors, and grain elevators are a critical factor in forming the cost of the final product. Improving the efficiency of limited space utilization through the enhancement of warehouse logistics organization is considered a direct path to the economic optimization of the enterprise. The analysis of current research has shown that, despite the feasibility of using computer technology, the modern agricultural sector urgently needs thorough methodological developments for the implementation of appropriate software applications.

The central objective of the study is the synthesis of a complex of algorithms to create an information system that generates recommendations for improving the operation of technological zones. Specifically, three interconnected algorithms have been developed: dividing space among sets of objects (taking into account the volumes of contingency reservation), determining the optimal loading order, and constructing an access sequence to storage objects. The scientific novelty lies in the formalization of the spatial problem using a deterministic matrix apparatus. A system of matrices is used to describe the technological zone and model its states.

The zone division algorithm is described in detail; it is based on an iterative analysis of the requirements for the content of sets, ordered by decreasing volume. The methodology involves constructing maps of the shortest distances to exit points and maps of minimum distances to the boundaries of the placement zone. A unique element of the algorithm is the mechanism for the automatic generation of a network of mandatory passages through the identification of poles-points furthest from the boundaries. Such passages are dynamically integrated into the model as new boundaries and exit points for further calculations. The proposed approach makes it possible to achieve a balance between the need for permanent storage locations and the flexibility of variable placement zones, which ensures maximum space utilization. The results of the work serve as a theoretical and algorithmic foundation for the development of specialized software aimed at reducing logistics costs in the agro-industrial complex.

warehouse logistics, agricultural technological zones, placement optimization, matrix spatial model, loading algorithms, storage zone division

Одержано (Received) 15.03.2026

Прорецензовано (Reviewed) 23.03.2026

Прийнято до друку (Approved) 01.04.2026