

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-320-4-41>

УДК 658.84

Юрій СЕНИК

Західноукраїнський національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8164-7783>

jurasenyk08@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПРОДУКЦІЇ ЧИ СИРОВИНИ

Розвиток торгових мереж, збільшення кількості населення у великих містах, розвиток транспортної інфраструктури вимагає оптимізації транспортних перевезень, розробки нових ефективних інформаційно-розрахункових технологій. В роботі проаналізовано теоретичні підходи вирішення проблеми маршрутизації транспортних засобів. За допомогою підходу компанія може моделювати доставку для набору клієнтів з періодичністю в декілька днів, що забезпечить оптимізацію витрат палива та підвищенням конкурентоспроможності підприємства. На основі сучасної математичної моделі PVRP, яка є узагальненням класичної проблеми маршрутизації транспортних засобів, будують базовий графік, в якому комбінуються постачальники та маршрути, задля знаходження найбільш оптимального щодо фінансових витрат та виконання всіх перевезень. Проаналізовано первинний етап моделі PVRP, на якому необхідно представити загальний опис наявної ситуації, далі описати мету, яку необхідно досягнути та розділити її на окремі завдання. Наголошено що важливою причиною впровадження системи мінімізації втрат на основі циклічної моделі при транспортуванні молочної сировини є мінімізація часу її зберігання, адже, як вже зазначалося не одноразово, це негативно впливає на якість молока. Можливий час зберігання молочної сировини визначатиметься температурними режимами та зміною мікробіологічних показників. Розглянуто ряд циклічних моделей організації логістичних перевезень, які мають практичний досвід. Наголошено що проблема мінімізації загальних запасів та запасів на заводі займає чільне місце з точки зору пріоритетності оптимізації системи постачання. З точки зору управління ланцюгом поставок, ефективніше зберігати матеріали якомога ближче до точки споживання, щоб зменшити ризик простою виробничої лінії. Стверджується що будь-яка модель з розробленим патерном є ефективною, якщо забезпечено безперервну роботу підприємства; мінімізацію загальних запасів; забезпечення співвідношення запасів постачальник/споживач на рівні 2/3. Для забезпечення ефективності роботи виробничого обладнання без втрат на зберігання необхідно впровадити принцип «хейдзунка», що забезпечить доставку транспортних партій необхідних матеріалів однакового розміру та безперервну роботу виробництва.

Ключові слова: циклічна модель, управління поставками, логістика, маршрутизація, транспортні засоби.

Yurii SENYK

West Ukrainian National University

APPLICATION OF CYCLICAL MODELS OF ORGANIZATION OF LOGISTICS TRANSPORTATION OF PRODUCTS OR RAW MATERIALS

The development of trade networks, the increase in the number of people in large cities, and the development of transport infrastructure require the optimization of transport and the development of new practical information and calculation technologies. Theoretical approaches to solving the problem of vehicle routing are analyzed in the paper. With the help of the approach, the company can simulate delivery for a set of customers with a periodicity of several days, which will ensure the optimization of fuel consumption and increase the enterprise's competitiveness. Based on the modern PVRP mathematical model, which is a generalization of the classic vehicle routing problem, a basic schedule is built in which suppliers and routes are combined to find the most optimal financial costs and execution of all transportation. The primary stage of the PVRP model is analyzed, at which it is necessary to present a general description of the existing situation, then describe the goal to be achieved and divide it into separate tasks. It was emphasized that an essential reason for introducing a system of minimizing losses based on a cyclic model during the transportation of milk raw materials is the minimization of its storage time because, as has already been noted more than once, this negatively affects the quality of milk. Temperature regimes and changes in microbiological indicators will determine the possible storage time of dairy raw materials. Several cyclical models of the organization of logistics transportation, which have practical experience, are considered. It is emphasized that the problem of minimizing total stocks and stocks at the plant occupies a prominent place from the point of view of prioritizing the optimization of the supply system. From a supply chain management perspective, storing materials close to the point of consumption is more efficient in reducing the risk of production line downtime. It is claimed that any model with a developed pattern is effective if the uninterrupted operation of the enterprise is ensured, minimization of total stocks, and the supplier/consumer stock ratio is at the level of 2/3. It is necessary to implement the principle of "heizunka" to ensure the efficiency of production equipment without storage losses, which will ensure the delivery of transport batches of the necessary materials of the same size and uninterrupted operation of production.

Keywords: cyclical model, supply management, logistics, routing, vehicles

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Основою для запуску ефективних логістичних шляхів доставки продукції чи сировини, у тому числі і молочної, є розв'язання так званої «проблеми маршрутизації транспортних засобів» («vehicle routing problems (VRP)»). На сьогоднішній день розроблено метод для пошуку цього рішення - проблема періодичності маршрутизації транспортних засобів («The Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)»). За допомогою цього підходу компанія може моделювати доставку для набору клієнтів з періодичністю в

декілька днів, що забезпечить оптимізацію витрат палива та підвищенням конкурентоспроможності підприємства.

Аналіз досліджень та публікацій

Проблема маршрутизації автотранспорту (Vehicle Routing Problems, VRP) вважається фундаментальною проблемою, що широко застосовується на практиці методу комбінаторної оптимізації.

Маршрутизацію автотранспорту в 1959 році вперше застосували Джордж Данциг та Джон Рамсер, а в останні роки вона набуває широкого розвитку. Розвиток торгових мереж, збільшення кількості населення у великих містах, розвиток транспортної інфраструктури вимагає оптимізації транспортних перевезень, розробки нових ефективних інформаційно-розрахункових технологій. Інформаційні технології, що використовуються в даний час, не дозволяють ефективно вирішувати алгоритми планування перевезення вантажів. Розробка нових алгоритмів, їх вирішення дозволять скоротити час і підвищити якість і достовірність отриманих в єдиний час даних.

Формулювання цілей статті

Мета статті аналіз застосування циклічних моделей для розв'язання проблеми маршрутизації транспортних засобів.

Виклад основного матеріалу

Вперше, основи моделі PVRP були розроблені двома науковцями E. Beltrami і L. Bodin [1] на основі яких і сформована сучасна математична модель. Вона є узагальненням класичної проблеми маршрутизації транспортних засобів - щоденне планування циклічних маршрутів, які розпочинаються і завершуються в одному депо, виходячи з наявного парку транспортних засобів та об'єму сировини для кожного напрямку. Для цього необхідно побудувати базовий графік $G = (N, A)$, де A – транспортні витрати для повного виконання маршруту; N – перелік клієнтів, які передбачені на маршруті та періодичність перевезень. На основі усіх можливих комбінацій постачальників та маршрутів знайти найбільш оптимальний щодо фінансових витрат та виконання всіх перевезень.

Припустимо, що d – кількість днів, які складають період планування, а s – загальна кількість всіх можливих графіків планування, таким чином, кожен графік із загальної вибірки можна описати вектором a_{sd} [2]:

$$a_{sd} = \begin{cases} 1 & \text{якщо } d \text{ відноситься до графіку } s \\ 0 & \text{якщо } d \text{ не відноситься до графіку } s \end{cases} \quad (1)$$

На первинному етапі моделі PVRP необхідно представити загальний опис наявної ситуації, далі описати мету, яку необхідно досягнути та розділити її на окремі завдання. Наприклад:

Розроблено можливі маршрути $G=(N,A)$ та визначено всі фінансові витрати для їх реалізації c_{ij} , $\forall (i,j) \in A$; період планування становить d днів; кількість точок відбору $N_c = N \setminus \{0\}$, причому кожен постачальник $i \in N_c$ та характеризується стабільним значенням об'єму сировини W_i впродовж всього періоду планування та, згідно контракту, частоту перевезення сировини f_i ; автопарк – K , з транспортним об'ємом C ; наявний розклад S .

Метою аналізу є мінімізація витрат на транспортування сировини від постачальників. Для досягнення вказаної мети необхідно:

- забезпечити безперебійне постачання сировини на підприємство;
- розробити ефективні щоденні маршрути для всіх господарств;
- здійснити моніторинг ефективності розроблених маршрутів.

Розглядаючи описану вище ситуацію згідно підходу PVRP можна отримати наступних три вирішення:

- підбір максимально ефективного транспортного маршруту;
- підбір для цього маршруту оптимальних постачальників сировини;
- впровадження стабільного щоденного маршруту впродовж всього часу планування.

Таким чином PVRP, для кожного $i \in N_c$, повинен вибрати розклад із цілої підмножини можливих розкладів $S_i \subseteq S$ так, що:

$$S_i = \left\{ s \in S: \sum_a a_{sa} = f_i \right\} \quad (2)$$

Виходячи з рівняння (2) можна зробити висновок, про те, що якщо $|S_i| = 0$ то для будь-якого $i \in N_c$ немає розв'язку, бо жоден графік не може задовольнити вимоги частоти відвідування господарства. У той же час, якщо $|S_i| = 1$ при $\forall i \in N_c$, тоді кожен постачальник має лише один можливий розклад для

забезпечення частоти перевезень та його ефективності. Таким чином, цю проблему можна розділити на окремі проблеми VRP, кількість яких дорівнюватиме значенню d .

Побудова циклічних логістичних моделей. Для побудови циклічних моделей доставки приймаються ряд допущень:

- рівень споживання молочної сировини для виробничих потреб є стабільним і виражається як $d > 0$;
- відтворення молочної сировини на господарстві є постійною, а її кількість відповідатиме виразу $- \min d$;
- загальний горизонт планування є скінченною величиною T ;
- модель постачання є циклічною системою, яка повторюється кожен t -період.

Важливою причиною впровадження системи мінімізації втрат на основі циклічної моделі при транспортуванні молочної сировини є мінімізація часу її зберігання, адже, як вже зазначалося не одноразово, це негативно впливає на якість молока. Можливий час зберігання молочної сировини визначатиметься температурними режимами та зміною мікробіологічних показників.

Також, необхідно врахувати той факт, що показник кількості молочної сировини під час її транспортування (m_i) однакова для всіх моделей і не впливає на тривалість циклу або графік доставки. Таким чином, запаси при транспортуванні (I) не залежать від частоти постачання чи його шаблону і можуть бути виражені наступним співвідношенням:

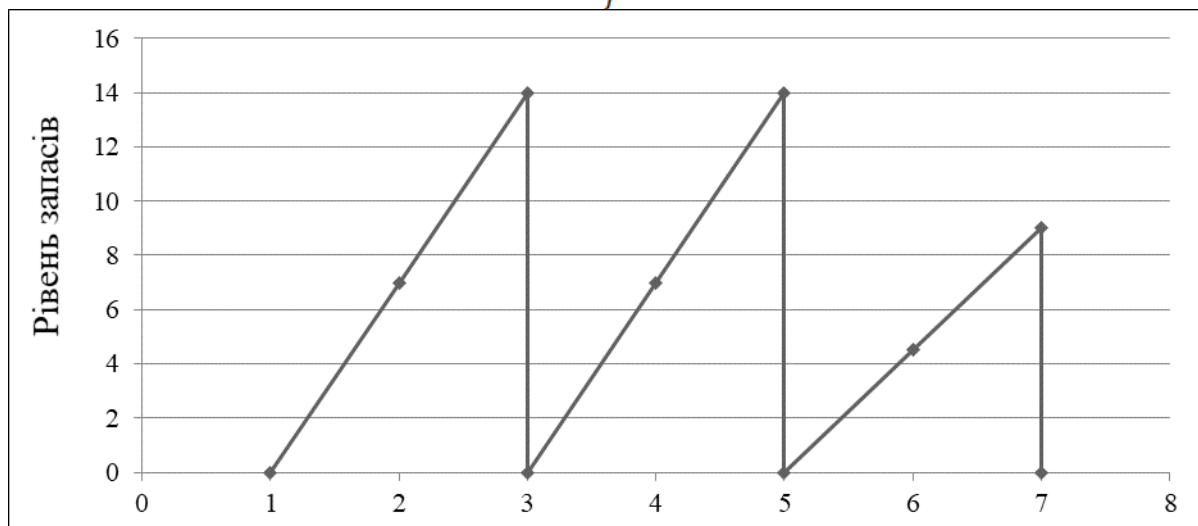
$$I = m_1 \cdot \tau_1 + \dots + m_n \cdot \tau_n = T \cdot d \cdot \tau \quad (3)$$

На основі цих припущень розглянемо ряд циклічних моделей організації логістичних перевезень, які мають практичний досвід:

1. «*Cyclic Continuous Time Inventory Model (CCI)*». Ми знаємо, що якщо замовлення рівномірно розміщені на горизонті планування, то запаси у постачальника змінюватимуться симетрично щодо запасів на підприємстві, тому замовлення однакового розміру, розміщені з одним значенням періоду забезпечать мінімальну вартість запасів для всієї системи. У випадку циклічних моделей замовлення не обов'язково формувати у разі залишку запасів на рівні часу транспортування сировини ($\tau = 0$), необхідно розуміти час відтворення запасів у постачальника і лише тоді планувати наступне транспортування, тобто, час замовлення може знаходитися у інтервалі $\tau = 0$ і T/f . Візуалізувати це можна аналогічно до графіку на рисунку 1. На рисунку 1а показано зміну рівня запасів молочної сировини на господарстві, при цьому видно, що плановий об'єм відвантаження знаходиться на однаковому рівні. Відповідно, на рисунку 2б показано зміну рівня запасів молочної сировини на підприємстві під час виробництва продукції. Важливою особливістю цього процесу є комунікація між постачальником та заводом, що виражається у адаптації процесу транспортування (рис. 3в), що можна прослідкувати на прикладі елементу 7 на всіх трьох рисунках. Такі зміни можуть виникнути як зі сторони молочного господарства через фізіологічні особливості стада корів чи їх захворювання, так і зі сторони виробництва, наприклад, через зниження замовлень на готову продукцію, проблеми з обладнанням, тощо.

Окрім цього, необхідно зазначити, що для визначення собівартості оптимальної моделі транспортування молочної сировини нероздільно враховуються запаси як постачальника, так і підприємства. Таким чином, для горизонту планування T і частоти постачання f можна вивести наступну формулу:

$$c^0 \cdot f + c^h \frac{d \cdot T^2}{f} + c^h \cdot d \cdot T \cdot \tau \quad (4)$$



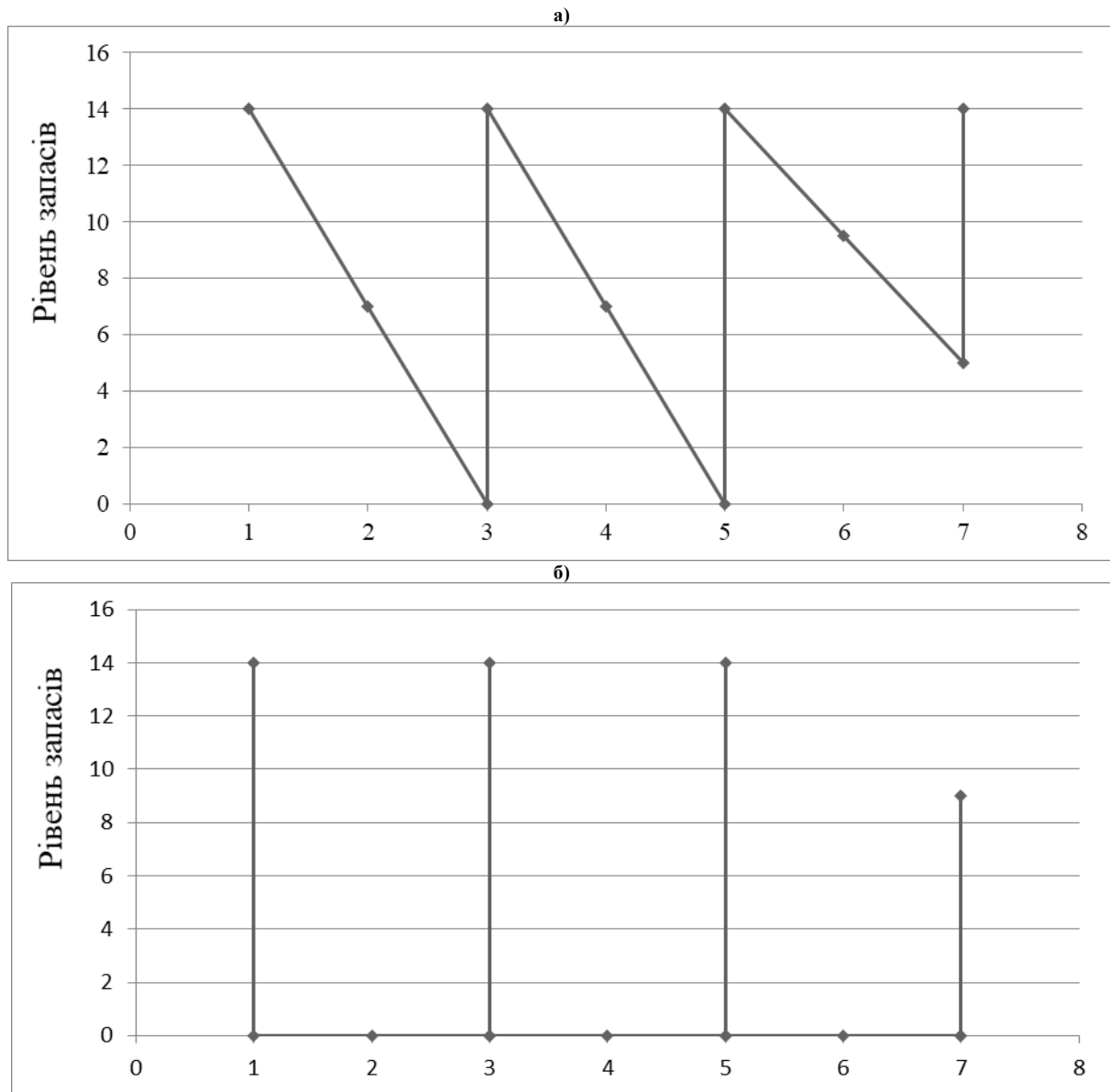


Рис. 1. Графічне вираження руху запасів від постачальника до підприємства

Джерело: розроблено автором

Як вже згадувалося вище, «формула Тойоти» передбачає циклічність процесу, тому з формули (1), якщо припустити, що час доставки в постачальника сировини дорівнюватиме нулю, показник страхової безпеки не враховувати, а $M = 1$, то можна розрахувати необхідну кількість «канбан карток»:

$$N^T = d \cdot \frac{a}{b} \quad (5)$$

Отриманий результат відповідає значенню $WIP_0 = d \cdot \frac{T}{f}$ оптимального графіка замовлення для частоти f . Якщо виникають невеликі відхилення від оптимального часу між прибуттям (або часу циклу) $\frac{T}{f} = \frac{a}{b}$, вони включаються в коефіцієнт c .

2. *A Cyclic Discrete Time Inventory Model (CDI)*. Такий підхід до побудови графіків транспортування молочної сировини враховують дискретність часу доставки молока, що передбачає різні значення інтервалу між поставками, але кратні базовому періоду. Якщо ж при побудові цієї моделі враховувати систему канбан і «push based policy» то можна сформувати логістичну систему не лише зі змінним значенням часу між поставками, але і об'ємом партії. Таким чином, час між прибуттям l вимірюються в базових періодах і повинен бути цілим значенням впродовж всього горизонту планування ($l \in \{1, 2, \dots, T\}$).

Якщо ж розглянути приклад, коли $T_{\text{mod}} f \neq 0$, а швидкість відтворюваності «запасів» у постачальника є *const*, тобто оптимальний період постійного циклу отримує дробове значення, можна побачити, що кількість «залишків» сировини у господарстві визначаються значенням кожного інтервалу відвантаження. Аналогічно на підприємстві, розмір «запасів» визначатиметься показником кожного інтервалу, але визначальним буде найдовший інтервал поставки, таким чином, необхідно забезпечити безперебійну роботу виробництва на цей період часу.

Для математичного побудови стабільного циклу (патерну P) [3] впродовж всього періоду планування виразимо найдовший інтервал в постачанні як $l_{\text{max}} \in \{1, 2, \dots, T\}$, інтервали між постачанням позначимо як $j \in \{1, 2, \dots, l_{\text{max}}\}$, а кількість інтервалів у P , як $n_j \in \{0, 1, \dots, f\}$, тоді будуть справедливими наступні рівняння:

$$\sum_{j=1}^{l_{\text{max}}} n_j = f$$

$$\sum_{j=1}^{l_{\text{max}}} j \cdot n_j = T$$

Виходячи з цього, можна розрахувати можливі об'єми «запасів» сировини на господарстві, на молокопереробному підприємстві та під час транспортування:

$$I_{\text{господарства}} = \sum_{j=1}^{l_{\text{max}}} \left(\sum_{t=0}^{j-1} t \cdot d + \frac{d \cdot j}{2} \right) \cdot n_j \quad (6)$$

$$I_{\text{підприємства}} = \sum_{j=1}^{l_{\text{max}}} \left(\sum_{t=0}^{j-1} (l_{\text{max}} - 1 - t) \cdot d + \frac{d \cdot j}{2} \right) \cdot n_j \quad (7)$$

$$I_{\text{транспортування}} = T \cdot d \cdot \tau \quad (4.31)$$

Далі ми можемо сумувати результати «запасів» господарства і підприємства, відповідно, формули (6) і (7), для зведення їх до одного оператора суми, по всіх інтервалах різних значень j при $1 \leq j \leq l_{\text{max}}$, а потім помножимо цю область на значення n_j , при цьому необхідно пам'ятати, що n_j для інтервалу $j = l_{\text{max}}$ апіорі становить не менше 1. Після цього можна додати і значення з формули (8) і отримати рівняння для розрахунку загальної кількості запасів за патерн:

$$I_{\text{загальне}} = \sum_{j=1}^{l_{\text{max}}} \left(\sum_{t=0}^{j-1} (t + l_{\text{max}} - 1 - t) \cdot d \cdot n_j + d \cdot j \cdot n_j \right) + T \cdot d \cdot \tau$$

$$= \sum_{j=1}^{l_{\text{max}}} (l_{\text{max}} \cdot d \cdot j \cdot n_j) + T \cdot d \cdot \tau \quad (9)$$

Формулу (4.31) можна спростити, якщо вираз $\sum_{j=1}^{l_{\text{max}}} (j \cdot n_j)$ прирівняти до T :

$$I_{\text{загальне}} = l_{\text{max}} \cdot T \cdot d + T \cdot d \cdot \tau \quad (10)$$

Як і передбачалося, загальний запас матеріалів чи сировини у циклі поставок визначатиметься виключно найдовшим інтервалом, а всі моделі, які знижують втрати через великі запаси на складі спрямовані на мінімізацію значення l_{max} .

У разі припущення, що всі значення інтервалів між відвантаженнями є цілими числами, то значення l_{max} повинно бути не менше $\left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil$, тому мінімальний запас можна розрахувати згідно формули:

$$I_{\text{мінзагальне}} = \left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil \cdot T \cdot d + T \cdot d \cdot \tau \quad (11)$$

Окрім цього, з формули (4.34) можна розрахувати максимальний об'єм площі складських приміщень, необхідних для зберігання всіх «запасів» постачальника. Для цього необхідно загальну кількість залишків поділити на T , при цьому отримаємо таке рівняння:

$$S_{max} = (l_{max} + \tau) \cdot d \quad (12)$$

На основі отриманих рівнянь можна знайти розв'язок так званій «проблемі реалізації обмежень» («constraint satisfaction problem» CSP), що визначає набір графіків, які забезпечують мінімізацію запасів виходячи із показника частоти f і періоду планування T . Якщо позначити період в якому відбувається i -те відвантаження матеріалів чи сировини як s_i , то підхід CSP дозволяє встановити ряд допустимих обмежень:

$$s_{i+1} - s_i \leq \left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil, \text{ де } i = 1, \dots, f - 1 \quad (13)$$

Таким чином, патерн моделі CDI для дискретного горизонту планування $\{0, 1, \dots, T\}$ з цілими значеннями часу доставки забезпечує мінімальний загальний запас для частоти f , якщо максимальний час між доставками відповідає виразу $\leq \left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil$.

Проблема мінімізації загальних запасів та запасів на заводі займає чільне місце з точки зору пріоритетності оптимізації системи постачання. З точки зору управління ланцюгом поставок, ефективніше зберігати матеріали якомога ближче до точки споживання, щоб зменшити ризик простою виробничої лінії, таким чином, загальний розподіл «тижневих запасів» у співвідношенні 40% у постачальник та 60% - на складі заводу є найбільш оптимальним для технологічного процесу [3]. Загалом, можна стверджувати, що будь-яка модель з розробленим патерном є ефективною, якщо забезпечено:

- безперебійну роботу підприємства;
- мінімізацію загальних запасів;
- забезпечення співвідношення запасів постачальник/споживач на рівні 2/3.

Згідно моделі дискретного часу [4], графік лише з двома значеннями інтервалів $\left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil$ і $\left\lfloor \frac{T}{f} \right\rfloor$ забезпечують мінімальні запаси та витрати на їх обслуговування. Ця додаткова умова може бути врахована при вираженні значення s_i :

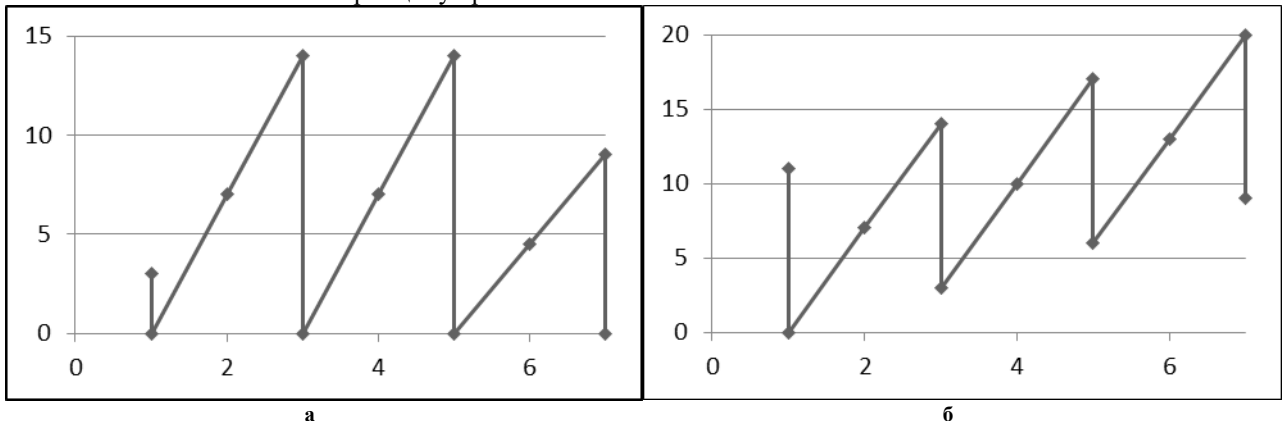
$$s_{i+1} - s_i \geq \left\lfloor \frac{T}{f} \right\rfloor \quad (14)$$

$$s_1 + T - s_f \geq \left\lfloor \frac{T}{f} \right\rfloor \quad (15)$$

Виходячи з припущення, що рівень запасів у постачальника і підприємства однаковий, можна розрахувати затрати для горизонту планування T і частоти транспортування f :

$$c^0 \cdot f + c^h \cdot \left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil \cdot d \cdot T + c^h \cdot d \cdot T \cdot \tau \quad (16)$$

3. *Cyclic Discrete Time Inventory Model with Levelled Transport Lots (CDI-LT)*. CDI модель побудови логістичних зв'язків є ефективною, але зумовлює доставку різних за об'ємом партій продукції, сировини або напівфабрикатів, що з точки зору ощадливого виробництва зумовлює втрати. Для забезпечення ефективності роботи виробничого обладнання без втрат на зберігання необхідно впровадити принцип «хейдзунка», що забезпечить доставку транспортних партій необхідних матеріалів однакового розміру та безперебійну роботу виробництва. Цей принцип найбільш ефективно використовувати для системи замовлень на основі принципу «push».



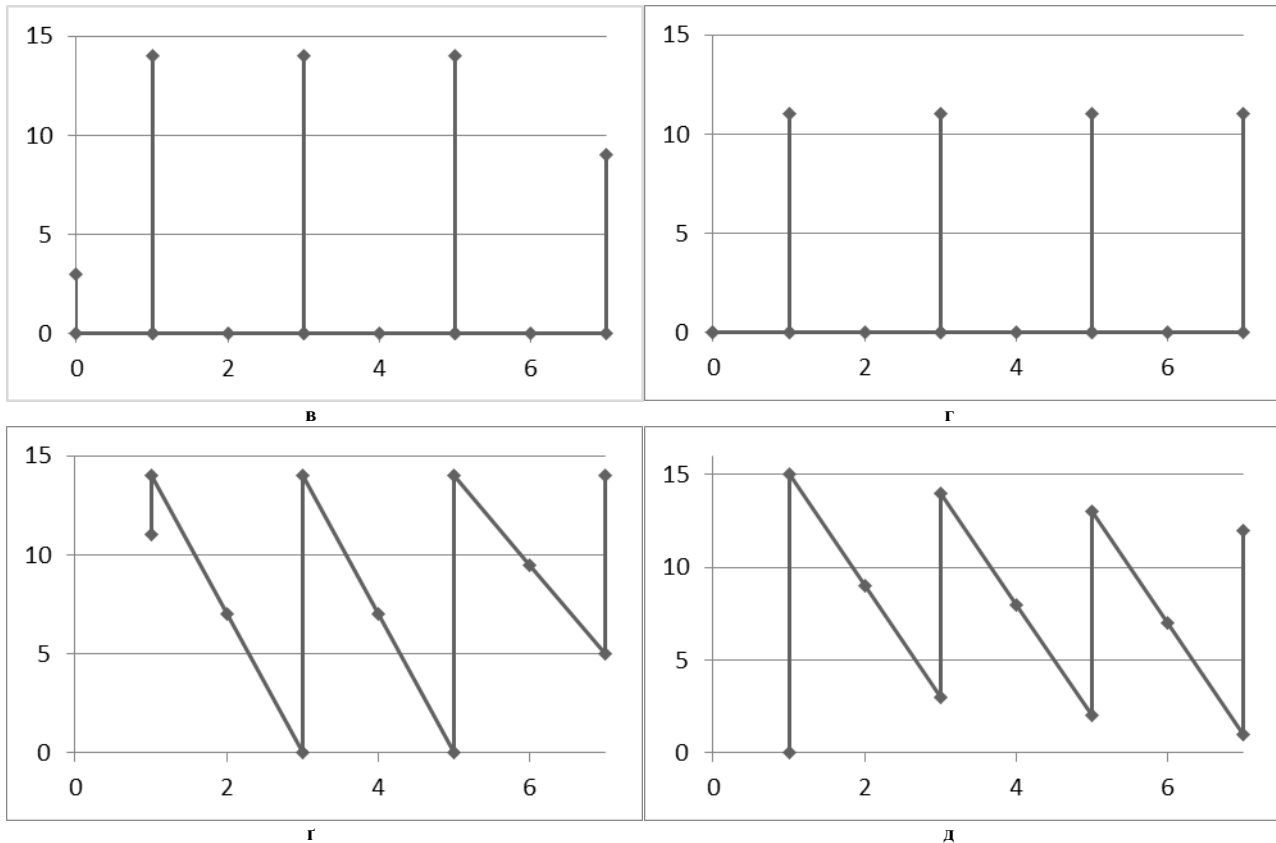


Рис. 2 Зміни рівня запасів матеріалів у виробника з використанням моделі канбан (а) та хейдзунка (б); об'єм транспортної партії з використанням моделі канбан (в) та хейдзунка (г); кількість залишків на складі заводу з використанням моделі канбан (а) та хейдзунка (б)

Джерело: розроблено автором

Для візуалізації відмінностей між змінами в кількості матеріалів на складі, об'ємах транспортування та запасах у виробника представимо діаграми на рис. 2. Із отриманих діаграм а та б видно, що у разі доставки матеріалів партіями стабільного об'єму, їх кількість на складі підприємства дорівнюватиме 0 значно рідше, порівняно з підходом канбан. Такий висновок справедливий для всіх моделей, у яких f не є дільником T [3]. Також необхідно зазначити, що додатковою умовою для цієї моделі є контроль періодів між доставками матеріалів, особливо це стосується найдовшого періоду, який і визначатиме необхідний рівень запасів на складі підприємства.

Загалом, підхід до управління запасами «хейдзунка» можна представити принципом накопичення матеріалів для адаптації виробництва до можливих змін в попиті. Математично ці періоди можна виразити таким чином:

$$M^+ = \left(\left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil - \frac{T}{f} \right) \cdot d \quad (17)$$

$$M^- = \left(\left\lfloor \frac{T}{f} \right\rfloor - \frac{T}{f} \right) \cdot d \quad (18)$$

$$M^+ + M^- = 0 \quad (19)$$

Єдиною умовою ефективності цього підходу є забезпечення результативності рівняння (19). Для цього необхідно щоб підприємство виробляло продукцію в окремо взятому інтервалі трохи більше за $\left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil \cdot d$ або трохи нижче за $\left\lfloor \frac{T}{f} \right\rfloor \cdot d$, при цьому, кількість інтервалів, в яких відбувається перевиробництво, має бути мінімальним.

Для розрахунку мінімального патерну доставки матеріалів необхідно припустити, що для значень T і f можна знайти nl , яке відповідатиме значенню натуральних чисел інтервалу розміру $\left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil$ і ns , яке відповідатиме значенню натуральних чисел інтервалу розміру $\left\lfloor \frac{T}{f} \right\rfloor$, при цьому, отримані результати повинні виконувати дві умови:

- сума ns і nl повинна дорівнювати значенню f ;
- ns і nl повинні бути цілими додатніми числами.

Виходячи з цього, можна використати значення з рівнянь (17) і (18) для подальших розрахунків:

$$\begin{aligned} M^+ \cdot nl + M^- \cdot ns &= 0 \\ ns + nl &= f \end{aligned}$$

Таким чином,

$$ns = f - nl \Leftrightarrow ns = \left\lfloor \frac{T}{f} \right\rfloor \cdot f - T \quad (19)$$

Виходячи з того, що ns і nl є цілі додатні числа можна розробити схему доставки матеріалів, для якої значення nl відповідатиме довгому періоду між доставками і довжиною $\left\lfloor \frac{T}{f} \right\rfloor$ та ns , що відповідатиме короткому періоду між доставками і довжиною $\left\lceil \frac{T}{f} \right\rceil$.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

На сьогоднішній день алгоритми точного вирішення задач оптимізації маршруту перевезення за мінімальний час майже відсутні. Для вирішення цього завдання є свого роду труднощі, основними з яких є:

- багатоваріантність та велика тривалість;
- нелінійність характеру функції витрат перевезення та обсягу вантажопотоку;
- необхідність вирішення задачі в динаміці;
- складність визначення витрат вантажоперевезень між порівнюваними видами транспорту та ін.

Також розробка математичних моделей на вирішення подібних завдань є складним процесом, оскільки необхідно враховувати умови багатofакторності перевезень.

References

1. Beltrami E.J., Bodin L.D. Networks and vehicle routing for municipal waste collection. *Networks*. 1974. Vol. 4(1). P. 65-94.
2. Francis P., Smilowitz K., Tzur M. The period vehicle routing problem and its extensions / Eds. Golden B., Raghavan S., Wasil E. *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. 2008. Vol. 43 of *Operations Research/Computer Science Interfaces*, P. 73-102.
3. Meyer A. *Milk run Design. Definitions, Concepts and Solution approaches*. Dissertation, Karlsruhe institut fur technologie (Kit). 2015. 257 p.
4. Kovalev A., Ng C. A discrete eq problem is solvable in $o(\log n)$ time. *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 189(3). P. 914-919.
5. Perboli Guido, Tadei Roberto, Vigo Daniele. The Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem: Models and Math-Based Heuristics // *Transportation Science*, 2011. № 45 (3). P. 364-380.
6. Vehicle Routing Problems. URL: <http://neo.lcc.uma.es/vrp/>