

Сеник Юрій Ігорович, кандидат біологічних наук, докторант кафедри підприємництва та торгівлі, старший викладач кафедри екології та охорони здоров'я Західноукраїнського національного університету. Начальник фізико-хімічної лабораторії ПрАТ "Тернопільський молокозавод"

Senyk Yurii, PhD in Biological, Doctoral Student, West Ukrainian National University. Head of the Physical and Chemical Laboratory PJSC "Ternopil Milk Factory", <https://orcid.org/0000-0002-8164-7783>

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИРОВИНИ ТА МАТЕРІАЛІВ OPTIMIZATION OF LOGISTICS PROCESSES OF TRANSPORTATION OF RAW MATERIALS AND MATERIALS

Сеник Ю. І. Оптимізація логістичних процесів транспортування сировини та матеріалів. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2023. Том 8. № 3. С. 305 – 312.

Senyk Y. Optimization of logistics processes of transportation of raw materials and materials. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. 2023. Volume 8. № 3, pp. 305 – 312.

Одним з основних завдань господарської діяльності підприємств є забезпечення виробництва матеріальними ресурсами з огляду на логістичний підхід. Будь-які простой, зниження ефективності роботи зумовлюють фінансові втрати для компанії. Для зменшення втрат, причиною яких є проблеми з доставкою, для сучасного автомобілебудування все актуальнішим є оптимізація логістичних процесів. В роботі розглянуто основні теоретичні напрями оптимізації транспортування матеріалів і сировини та охарактеризовано їх роль у запобіганні зупинки технологічного процесу. На виробничому підприємстві будь-якого промислового спрямування відбувається зупинка технологічного процесу чи фасувальної лінії через дефіцит сировини, комплектуючих до обладнання або пакувальних матеріалів. Розглянуто сценарії відновлення виробництва. Проаналізовано схему та етапи логістичного процесу: зовнішньої логістики та внутрішньої логістики. У зв'язку з великою різноманітністю деталей, а також їх застосуванням на виробничій лінії в роботі розглянуто ефективну концепцію визначення «точки секвенування». Для повного розуміння побудови логістичних ланцюгів доставки згідно з принципом JIT розглянуто кожен елемент схеми доставки деталей. Будь-яке виробництво знаходиться перед фундаментальною дилемою: більшою вартістю запасів та нижчою вартістю доставки через меншу кількість перевезень чи навпаки. На сьогодні практично неможливо забезпечити щоденне транспортування необхідної кількості деталей, тобто передбачити формування малих партій без залучення складських приміщень, що пояснюється великою кількістю необхідних деталей. Головним завданням логістичних зв'язків виступає поділ роботи по стадіях руху товару, який веде до поділу окремих процесів. Розв'язання цього завдання здійснюється шляхом організації в рамках єдиного процесу переміщення матеріалів та інформації по всьому ланцюгу від виробника до споживача, забезпечення взаємодії окремих стадій та узгодження дій всіх учасників логістичного ланцюга.

Ключові слова: споживачі, логістичний ланцюг, простой, транспортування, логістичні процеси.

One of the main tasks of the economic activity of enterprises is to provide production with material resources because of the logistic approach. Any downtime reduced work efficiency causes financial losses for the company. To reduce losses caused by delivery problems, optimizing logistics processes is becoming increasingly crucial for the modern automotive industry. The paper examines the main theoretical directions of optimizing the transportation of materials and raw materials and characterizes their role in preventing the stoppage of the technological process. At a production enterprise of any industrial direction, the technological process or packaging line is stopped due to a shortage of raw materials, equipment components, or packaging materials. The scenarios of production recovery were considered. The scheme and stages of the logistics process are analyzed: external and internal logistics. In connection with the large variety of parts and their application on the production line, the paper considers the compelling concept of determining the "sequencing point". For a complete understanding of the construction of logistics supply chains according to the JIT principle, each element of the parts delivery scheme is considered. Any manufacturing industry faces a fundamental dilemma: higher inventory costs and lower shipping costs due to fewer shipments or vice versa. Today, it is practically impossible to ensure the daily transportation of the required number of parts, that is, to foresee the formation of small batches without the involvement of warehouses, which is explained by the large number of required parts. Logistics connections' main task is dividing work by stages of goods movement, leading to individual processes' division. The solution to this task is carried out by organizing within a single process the movement of materials and information along the entire chain from the producer to the consumer, ensuring the interaction of individual stages and coordinating the actions of all participants in the logistics chain.

Keywords: consumers, logistics chain, downtime, transportation, logistics processes.

Вступ

Будь-які простой, зниження ефективності роботи чи додаткова обробка вже готового продукту зумовлює фінансові втрати для компанії. Для зменшення втрат, причиною яких є проблеми з доставкою, для сучасного автомобілебудування все актуальнішим є оптимізація логістичних процесів. У своїй праці D. Battini, N. Boysen і S. Emde [1] проаналізували зміни в процесах доставки автомобільних деталей та виділили чотири основних напрями перебудови цього процесу:

- зменшення часу збору автомобілів до 15 годин [2], скорочення глибини виробництва з 43% до 25–35% [3] та концентрування на основних потребах споживачів дозволяє збільшити прибуток, оптимізувавши доставку комплектуючих та їх ціну;

© Сеник Юрій Ігорович, 2023

- орієнтація на індивідуальні потреби клієнтів дозволяє замовникам вибрати комплектацію власного автомобіля, що потребує ефективної доставки невеликої партії деталей в короткий проміжок часу. Цей маркетинговий підхід забезпечує дохід автомобільним виробникам, тим не менш, значно скорочує цикли планування логістики деталей та точності в прогнозуванні;

- універсалізація лінії складання автомобілів передбачає випуск декількох марок транспортних засобів у залежності від замовлення. Наприклад, завод Volkswagen у Братиславі (Словаччина) збирає Touareg від Volkswagen, Q7 від AUDI та Cayenne від Porsche. Такий процес потребує ефективної доставки деталей різних марок, а також їх зберігання на складських приміщеннях заводу;

- застосування концепції Just-in-Time (JIT) для зменшення запасів на складі виробника. Однак витрати на логістику можна ще зменшити, якщо запчастини будуть доставлені також згідно з принципом Just-in-Sequence (JIS). JIS означає, що постачальник попередньо сортує деталі в контейнери, щоб працівники заводу могли вилучити ці деталі в правильному порядку їх використання на лінії збору авто. Обидві концепції, JIS і JIT, скорочують цикли доставки та витрати на утримання складських приміщень, тим не менш підвищують залежність від добре спланованих і надійних логістичних операцій.

Результатом впровадження всіх вказаних змін є максимальна перебудова роботи логістичного відділу та складу автомобільного заводу.

Формулювання цілей статті

Проаналізувати напрями оптимізації логістичних процесів транспортування сировини та матеріалів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Щодня на виробничому підприємстві будь-якого промислового спрямування відбувається зупинка технологічного процесу чи фасувальної лінії через дефіцит сировини, комплектуючих до обладнання або пакувальних матеріалів. Для відновлення виробництва реалізується один з таких сценаріїв [4]:

- відбувається перестановка робочої деталі з іншого робочого обладнання, яке зараз не задіяно або використано «замінник», який не вплине на якість продукції, але не відповідатиме вимогам компанії щодо цього товару. Такі зміни можуть зумовити затримку партії продукції для відвантаження або отриманні рекламацій щодо невідповідності заявленим характеристикам;

- у разі затримки доставки комплектуючих чи пакувальних матеріалів компанія направляє власний транспорт для його доставки, що, по-перше, зумовлює додаткові витрати на перевезення, а, по-друге, через додатковий час очікування якість харчового продукту може погіршитися, що може зумовити фінансові втрати компанії;

- продовжити техпроцес або фасування, якщо це не вплине на безпеку і якість кінцевого продукту, а після доставки завершити виробництво. Наприклад, якщо відсутня етикетка для споживчої тари, фасування продукції відбудеться, але етап її наклейки буде пропущена. Після доставки матеріалу випуск продукції буде завершений, але це зумовить затримку в реалізації продукції, погіршення якості продукту через додаткове транспортування та фінансові втрати через додаткове залучення персоналу дільниці та обладнання;

- відбувається зупинка виробничого процесу чи фасувальної лінії, що зумовлює матеріальні втрати компанії через простій обладнання і персоналу, а також можливі втрати якості продукту через інтенсифікацію техпроцесу через необхідність виконання замовлення.

Загалом логістичний процес можна представити поєднанням двох основних етапів (рис. 1): зовнішньої логістики (external logistics) та внутрішньої логістики (in-house logistics).

Етап зовнішньої логістики відповідає першим двом процесам на схемі, які вимагають роботи із постачальниками та організації доставки необхідних деталей на підприємство. Зовнішня логістика також передбачає постачання деталей JIT, що можна забезпечити лише на основі довгострокового контракту з постачальниками або так званих рамкових угод, які необхідні для ефективного виконання короткострокових замовлень.

Другий етап, «in-house logistics», обумовлює процес приймання, зберігання і використання у виробничому процесі необхідних деталей. Після отримання товару відповідальність за запчастини переходить від постачальника або перевізника на працівників підприємства. Якщо з постачальником не узгоджений процес JIS, працівники складу сортують отримані матеріали, маркують та зберігають для забезпечення виробничого процесу. Після отримання внутрішнього замовлення про необхідність деталей чи матеріалів на виробничій лінії вони транспортуються зі складу та розміщуються для ефективного доступу до них працівників.

У зв'язку з великою різноманітністю деталей, а також їх застосуванням на виробничій лінії J. Swaminathan і T. Nitsch [5] запропонували ефективну концепцію визначення «точки

секвенування» («sequencing point concept»), яка передбачала визначення «точки послідовності» як місце в автомобільному ланцюжку поставок, де деталі сортуються в «тій же послідовності, що й транспортні засоби, в які вони будуть встановлені». З точки зору логістики здається достатнім позначити три потенційні місця розташування точки «послідовності»: у постачальника, на складі підприємства або безпосередньо на виробничій лінії:

- «sequencing point» може бути розташована у постачальника, де деталі сортуються, а потім транспортуються JIT, як визначено послідовністю виробничого процесу. Це ідеально налагоджений процес, який не передбачає проміжного зберігання деталей або матеріалів на складі підприємства, а деталі доставляються безпосередньо на лінію. Скорочення часу та витрат

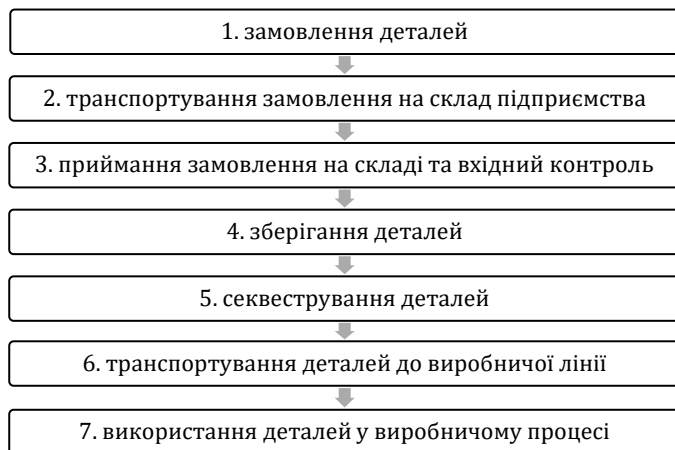


Рис. 1. Схема логістики транспортування деталей. Джерело: розроблено автором

на зберігання запасів є фінансово вигідним для дорогих деталей, які представляють собою «заморожені» кошти підприємства;

- якщо «точка секвенування» розташована на складі підприємства, то всі деталі і матеріали доставляються згідно з принципом JIT та передбачає усі наступні етапи згідно з рис. 1. Як відомо [6], логістика JIT вимагає коротких термінів доставки і, отже, пов'язана з частими поставками та високими транспортними витратами, тому сортування на складі підприємства фінансово вигідне для деталей середнього розміру та вартості;

- «точка секвенування», безпосередньо розташована у виробничому цеху, передбачає доставку отриманих деталей до лінії збору, де монтажник використовує необхідні деталі відповідно до виготовленої продукції. В такому підході будь-які розглянуті вище логістичні етапи не потрібні, що знижує витрати на зберігання деталей, але збільшує можливість браку. Тому реалізація цієї концепції можлива лише для невеликих, низькоцінних продуктів з низьким асортиментом та кількістю деталей.

Для повного розуміння побудови логістичних ланцюгів доставки згідно з принципом JIT необхідно розглянути кожен елемент схеми доставки деталей згідно з рис. 1:

1. Замовлення деталей передбачає аналіз попереднього замовлення на готову продукцію та розрахунок необхідної кількості деталей для її виготовлення, при цьому постачальнику надається чітка інформація щодо замовлення: кількість і типи деталей, місце і час доставки. Як зазначалося вище, між підприємством та постачальником укладено довгостроковий контракт, який передбачає відповідні умови доставки, а також можливі штрафні санкції у разі невиконання умов угоди. Відповідно до способу обробки інформації постачальники виділяють два альтернативні підходи логістики [4]:

I підхід. Замовлення необхідної кількості деталей, виходячи з показника очікуваного попиту та враховуючи показник продуктивності виробничої лінії впродовж відповідного інтервалу часу. Такий підхід застосовують для замовлення дорогих та конструктивно складних деталей.

Якщо розглянути планування замовлень, то використання I підходу до логістичного процесу залишає декілька «ступенів свободи», адже в довгостроковому контракті передбачено інтервал доставки деталей, а також їх загальну кількість, натомість розмір партії, яку необхідно замовити, вже визначається середнім показником замовлення двох надходжень і не потребує додаткового прогнозу [7]. Замовлення деталей характеризуються певною ритмічністю, яка визначатиметься мінімальним та максимальним рівнем попиту, а також кількістю запасів матеріалів чи комплектуючих на складі підприємства. Також необхідно зазначити, що інтервал замовлення не є константним показником, а може змінюватися відповідно до замовлення, а також послідовності збору марок автомобілів на підприємстві, така адаптація транспортування є важливою для оптимізації витрат на перевезення за рахунок спільних поставок кількох типів деталей від одного постачальника [8].

II підхід. Застосування принципу «витягування» для поновлення необхідної кількості деталей або матеріалів. Необхідно зазначити, що прогноз замовлення чи зміна попиту не є визначальними факторами доставки, а тригером для запуску логістичного процесу є дотримання системи «канбан» або періодичний візуальний контроль залишків на складі, при цьому терміни доставки ретельно контролюються згідно з принципом JIT. Такий логістичний підхід найчастіше застосовують для деталей з низькою вартістю, особливо у межах логістики всередині підприємства.

Як видно із зазначеної інформації, ефективна реалізація II підходу передбачає систематичний збір та аналіз актуальних даних щодо попиту та залишків деталей на складі підприємства. Система Kanban є найчастіше застосовуваний підхід для збору інформації, як альтернатива для цього методу є система контролю запасів (за умови невизначеності). Для цього підходу тригером виступає заздалегідь визначений сигнал, наприклад, мінімально допустимий рівень запасів або певний проміжок часу після замовлення [7].

Якщо розглянути сучасний етап автомобілебудування, то він починається із замовлення, на сьогодні, основний об'єм замовлень надходить безпосередньо не від кінцевого споживача, а від дилера [9]. Наприклад, згідно з офіційними даними у Європі приблизно 50% усіх замовлень здійснюється дилерами автомобілів, а у Німеччині це число менше, але перевищує значення у 30% [10]. Після того, як замовлення отримано, визначається термін його виконання, при цьому мінімальний час очікування близько шести тижнів є стандартним для багатьох підприємств-виробників [11].

Для організації ефективної роботи виробничої лінії отриманий пул замовлень є вхідними даними для розробки основного плану виробництва («master production scheduling» (MPS)). MPS дозволяє розділити пул замовлень в межах кількох циклів планування спочатку визначити тижневий, потім денний і, нарешті, графік зміни [12]. Реалізація запланованого MPS є визначальною для логістики, тому що в іншому випадку необхідно використовувати частини JIS відповідно до зміненої послідовності виробництва, що зумовить фінансові втрати для компанії.

2. Транспортування замовлення на склад підприємства. Стандартним видом доставки матеріалів і деталей в автомобільній промисловості є автотранспорт, на другому місці знаходиться залізничний транспорт [13]. Будь-яке виробництво знаходиться перед фундаментальною дилемою: більшою вартістю запасів та нижчою вартістю доставки через меншу кількість перевезень чи навпаки. На сьогодні практично неможливо забезпечити щоденне транспортування необхідної кількості деталей, тобто передбачити формування малих партій без залучення складських приміщень, що пояснюється великою кількістю необхідних деталей. Тим не менш відомі способи створення способів доставки дрібних партій, але для невеликих і малоцінних деталей [14]:

3. Приймання замовлення на складі та вхідний контроль.

Після доставки деталей чи матеріалів на підприємство організовується процес їх вивантаження і транспортування до кінцевої точки призначення: до виробничої лінії, якщо впроваджена система JIS, або на склад підприємства у разі застосування підходу JIT. Всі вантажівки, які заїжджають на територію підприємства, реєструються працівниками охорони і переміщуються безпосередньо на розвантаження або тимчасове перебування на стоянці. Альтернативним підходом є застосування власних причепів, які можна від'єднати від тягачів та зберігати на спеціальному майданчику, а потім підвести тягачем для розвантаження. Такий підхід дозволить зменшити витрати за простої автомобіля, а також зберегти заплановану послідовність приймання товарів на склад [15]. Після розвантаження деталі повинні бути ідентифіковані, для цього найчастіше використовується метод зчитування штрих-кодів на кожній упаковці та внесення відповідного товару і його кількості в електронну форму поставок. Для великих автомобільних компаній є стандартною практикою не проводити вхідний контроль якості отриманих деталей чи матеріалів, так як це здійснено їх виробником. Такий підхід задокументовано в контракті, а також прописані відповідні штрафні санкції у разі отримання дефектних деталей.

У залежності від впровадженого методу доставки товарів JIS або JIT, може бути використано два альтернативних підходи до логістики:

- впроваджена система JIS, як вже зазначалося раніше, поширюється на дороги та особливо важливі комплектуючі, саме тому їх розвантажують першими та поза чергою. Яскравим прикладом є доставка сидінь для авто на завод Volkswagen. Для цих комплектуючих виділено окремий док, де навантажувач переміщує крісла, закріплені у спеціальній стійці, до виділеного сегменту конвеєру збору автомобілів [4];

- система доставки JIT не передбачає селективності в процесі приймання, а тому автомобілі за допомогою електронної системи обліку формують чергу, якою управляє оператор і направляє водія до вільного доку для розвантаження. Зазвичай процес приймання товарів за системою JIT організований для реалізації двох основних напрямів [16]:

1. Формування «ефективного» розпорядку розвантаження товару, який реалізується через попереднє (за декілька днів до транспортування) виділення «часового вікна» для постачальника. Для цього підприємство розробляє відповідну електронну систему, де поста-чальник або найманий субпідрядник реєструється і вказує бажані години доставки товару. Отримана інформація щоденно аналізується та формується графік прибуття товару з вказанням інтервалу часу розвантаження, а також номеру доку, ця інформація надсилається поста-чальникам для ознайомлення. Основним завданням цього процесу є забезпечення рівномірного використання розвантажувальних доків для мінімізації часу перебування автотранспорту на території підприємства.

Необхідно зазначити, що у своїй роботі F. Klug [13] розглядає додаткову умову формування такого графіку, як вибір пріоритетності товару для розвантаження, адже одна вантажівка може перевозити декілька видів деталей, тому їй доведеться переміщатися від одного доку до іншого. Послідовність розвантаження враховуватиме відстань між доками, розміщення деталей у вантажівці, а також необхідність залучення додаткової техніки для розвантаження товару.

2. Координація процесу розвантаження. Для цього у графіку роботи доку окрім переліку вантажівок та, відповідно, матеріалів для розвантаження вказані часові рамки цього процесу. Регуляція цього процесу має місце як один з пунктів контракту, який передбачає, що якщо товар прибуває після відповідного часу, постачальник-найманий субпідрядник сплачує штраф, а підприємство звільняється від усіх обмежень за часом обслуговування цієї вантажівки. Якщо ж система дала збій, і склад не провів вчасно розвантаження, постачальник отримує демаредж відповідно до часу простою вантажівки [17].

Такі умови контракту забезпечують не лише доставку товарів у запланований час, а й ефективну роботу працівників підприємства. Окрім цього, така система дозволяє досягнути інших цілей [18]: мінімізація результуючих відстаней частин до лінії; уникнення простою обладнання через відсутність деталей; мінімізація витрат на зберігання матеріалів на складі.

4. Зберігання деталей означає, що вони зберігаються в певній логістичній зоні, щоб подолати часовий проміжок між отриманням деталей та їх доставкою на лінію збору. Сформовані запаси деталей в системі JIT можуть бути організовані по-різному [19]: традиційним підходом є формування централізованого складу, який використовує стелажне або наземне зберігання, а його функціями є приймання, облік і переміщення товару на виробничу лінію; новітнім підходом є побудова «JIT-супермаркетів», сенс яких є переміщення деталей ближче до лінії та їх зберігання в децентралізованій логістичній зоні.

Кожен з описаних підходів має недоліки, наприклад, традиційний підхід передбачає залучення необхідної площі території підприємства для зберігання товару; забезпечення належних умов зберігання матеріалів; транспортування великих партій товару; залучення кваліфікованого персоналу для обліку матеріалів та його транспортування до виробничої лінії.

Новітній підхід зумовлює: виділення місця для зберігання матеріалів у виробничій зоні; систематичний облік товару працівниками виробничої дільниці; щоденне транспортування невеликої партії товару, що у форс-мажорних випадках може зумовити невиконання замовлення; доставка комплектуючих невідповідної якості зумовить зупинку технологічного процесу.

5. Секвестрування деталей – це спеціальний процес вибору деталей з центрального складу або «JIT-супермаркету» і розміщення в бокси у відповідності до порядку їх застосування. Такий підхід кардинально відрізняється від традиційного поняття комплектування замовлень для виробничої дільниці, яке передбачає переміщення матеріалів у спеціальний контейнер або транспортну тару без будь-якого спеціального порядку. Секвестрування деталей дозволяє працівнику швидко отримати доступ до необхідної деталі без втрати часу на її пошук чи ідентифікацію [20]. Тим не менш, такий підхід має негативні наслідки для виробничого процесу:

- будь-яка затримка з доставкою комплектуючих зумовить додатковий простій виробничої лінії через необхідність складання деталей у визначеній послідовності;
- дефектні деталі працівники складу також використовують для забезпечення визначеної послідовності.

У своєму дослідженні R. De Koster та ін. [21] виділив два підходи до організації процесу секвестрування:

У системі «запчастини-комплектувальник» («parts-to-pickers system») деталі витягаються з автоматизованої системи зберігання та пошуку («automated storage and retrieval system» ASRS) і транспортуються до працівника складу, який складає їх у відповідності до застосування на виробничій лінії. У разі застосування на виробництві системи JIS принцип ASRS не застосовується, бо необхідні деталі доставляються уже секвензовані. Проблеми оперативного прийняття рішень, які необхідно вирішити для будь-якого напряму промисловості, для підходу ASRS однакові – розробка і дотримання оптимального патерну збору матеріалів для кожного типу продукту та забезпечення ефективної системи пошуку запчастин на складі.

Для більших за розмірами та цінних матеріалів, як правило, застосовується парадигма «комплектувальник-запчастини». Згідно з цим підходом деталі зберігаються у спеціально виділених і фіксованих місцях, найчастіше за стелажним принципом, але на висоті, щоб комплектувальник зумів власноруч витягнути необхідну деталь. Щоб забезпечити швидкий доступ до комплектуючих, в автомобільній промисловості деталі зберігаються або на наземному складі в контейнерах, у яких вони прибули, або в низьких стелажах.

Застосування цього підходу зумовлює необхідність оперативної розробки маршруту для ефективного комплектування замовлення. Першим етапом побудови ефективного маршруту є

розподіл набору матеріалів на окремі підмножини, які будуть спільно зібрані під час одного маршруту комплектувальника. Другим етапом є вибір оптимальної послідовності вилучення матеріалів зі складу для мінімізації часу маршруту та забезпечення його ефективності. Такий підхід має на меті скоротити відстань, яку має подолати комплектувальник, оскільки пересування складом займає ліву частку загального часу виконання замовлення. Саме тому під час планування розташування зони секвестрування всі варіанти одного типу деталей, зазвичай, об'єднуються в єдиний кластер, що забезпечує ефективність зберігання і комплектування. Іншою метою формування кластерів зберігання деталей схожого є спосіб їх складання і транспортування, великі і важкі деталі чи матеріали потребують фізичних зусиль або залучення відповідного обладнання: штабелерів або навантажувачів. За останні десятиліття проблема фізичного навантаження на працівників складів для західних виробників постала максимально гострою, особливо після залучення профспілок, тому ергономіка стала головною проблемою в автомобільній промисловості.

6. Транспортування деталей до виробничої лінії. Ще одним обов'язковим етапом є доставка деталей зі складу до виробничої лінії. Ряд авторів у своїх роботах [22, 23] виділяють три основні шляхи доставки замовлення, виходячи із застосовуваного транспортного засобу: вилковий навантажувач; буксирувальний потяг; конвеєрна система.

Вилкові навантажувачі довели свою придатність у багатьох галузях промисловості, а саме їх здатність піднімати важкі піддони та контейнери робить їх незамінним елементом роботи складу. Однак через їхню відносно низьку транспортну здатність багато західних виробників прагнуть замінити вилкові навантажувачі іншими транспортними засобами з більшою місткістю, такими як буксирні поїзди. З точки зору операційної роботи організація роботи навантажувачів передбачає: секторальний розподіл навантажувачів на складі; координація роботи навантажувачів для ефективного виконання замовлення; розробка послідовності виконання замовлення для мінімізації втрат часу та відстані проїзду навантажувача.

Всі описані вище операційні завдання по координації роботи навантажувачів є взаємозалежні і тому повинні вирішуватися спільно. Такий підхід організації роботи складу забезпечить мінімізацію робочого навантаження, оптимізує кількість залучених навантажувачів для виконання замовлення, а також забезпечить візуальний контроль запасів на складі. Незважаючи на автоматизацію процесу обліку деталей на складі, людський фактор помилки в обліку завжди залишається, тому залучення операторів навантажувачів до перевірки кількості запасів на складі забезпечує додатковий контроль та уникнення простоїв виробництва.

Буксирувальний поїзд складається з моторизованого буксирного транспортного засобу, з'єднаного з декількома вагонами, які перевозять сформовані матеріали. Місткість буксирувального поїзда зазвичай достатньо велика, щоб обслуговувати кілька виробничих ліній. Рух буксира завжди починається і завершується на централізованому складі, де комірники з'єднують вагони та заповнюють їх контейнерами відповідно до замовлення кожної виробничої лінії відповідних станцій, відповідно до графіка. Деякі виробники автомобілів забезпечили повну автоматизацію процесу доставки матеріалів, замість оператора-людини комп'ютерна програма керує буксиром, а для зупинок використані спеціальні стійки. Ця система дозволяє пристиковуватися вагону таким чином до стелажа, що заповнені транспортні палети за допомогою пружинного елемента переміщуються на стелаж, а порожні переміщуються назад до буксиру. Такий підхід скорочує час розвантаження і робить можливим процес надійної доставки деталей. Крім того, деякі виробники встановили на кожній станції дисплеї, на яких відображається зворотний відлік до наступного прибуття буксирувального поїзда, що дозволяє монтажникам і керівникам виробничих ліній оптимізувати роботу для унеможливлення простою обладнання.

D. Battini та ін. [22] виділили основні операційні проблеми цього способу доставки матеріалів:

✓ розробка лінійного маршруту доставки матеріалів, що передбачає оперативне інформування між структурними одиницями компанії та логістикою;

✓ у кожному маршруті необхідно виділити час відправлення та повернення буксиру, а також проміжок часу кожної зупинки на виробничих лініях. Виробники оригінального обладнання в автомобільній промисловості часто прагнуть забезпечити постійне постачання запчастин, застосовуючи циклічні графіки, наприклад, відправка буксиру кожні 30 хвилин за фіксованим маршрутом. Однак буксирні потяги також можуть використовуватися з нециклічним графіком і різними маршрутами. Очевидно, що маршрут і розклад буксирувальних поїздів пов'язані з замовленням виробництва, а також обмеженою пропускну здатністю буксира щодо перевезення матеріалів;

✓ для кожного маршруту та розкладу необхідно визначити кількість і типи частин, які будуть завантажені для транспортування буксиру. З точки зору ощадливого виробництва та системи JIT необхідно завантажити саме ту кількість деталей, яку було замовлено виробничою

лінією. Однак, враховуючи обмежену місткість буксира, така вимога не завжди може бути реалізована за одне перевезення, а потребуватиме декількох транспортних переміщень. У кінцевому рахунку, проблеми запасів на станціях повинні бути зменшена, тоді як дані вимоги станції та обмежена потужність буксира розглядаються як обмеження.

Третім способом транспортування є конвеєрна система, яка може бути реалізована у вигляді стрічкового або підвісного конвеєра, який доставляє деталі з центрального приймального сховища до виробничої лінії. Оскільки послідовність доставки заздалегідь визначається виробничою послідовністю виробничої лінії, з цим не пов'язано жодних складних операційних проблем. З іншого боку, можна поєднати конвеєрний тип транспортування з системою формування «дорожніх наборів» («traveling kits»), які містять набір різних деталей, призначених для одного автомобіля, та можуть зберігатися безпосередньо на контейнері або в автомобілі, наприклад, у багажнику. Оскільки місця на основній конвеєрній лінії або в кузові автомобіля надзвичайно мало, лише кілька комплектів, що містять відносно дрібні деталі, можуть бути застосовані в реальних системах складання, не створюючи значних перешкод, тому основною проблемою є вибір правильного типу і кількості деталей для комплекту.

7. Останнім елементом в схемі логістики транспортування деталей є використання деталей у виробничому процесі. Після доставки матеріалів до виробничого цеху вони повинні бути розміщені на спеціальному складі поруч зі складальною лінією. Організація зберігання деталей включає два можливих шляхи: наземне зберігання застосовується для великих деталей; гравітаційне стелажне зберігання складається з похилих полиць, які поповнюються працівниками логістики ззаду, монтажник спереду витягує деталі для застосування. З точки зору ергономіки стелажне зберігання є оптимальним, оскільки монтажнику не потрібно тратити час на доставку деталей, а оперативне відновлення запасів забезпечує ефективне використання робочого часу. З іншого боку, подвійна обробка контейнерів для зберігання на стелажах збільшує зусилля працівників логістики, які доставляють деталі.

Основною операційною проблемою на цьому етапі доставки матеріалів є вибір місця розміщення деталей біля виробничої лінії. Переміщення монтажника між стелажми може займати значну частину загального часу циклу, тому непродуктивний час ходьби слід звести до мінімуму. Беручи до уваги стабільність роботи виробничої лінії та визначене місце зупинки деталі, можна легко розрахувати оптимальне положення стелажа, мінімізуючи відстані для працівників. Тим не менш, необхідно врахувати, що на обмежений простір необхідно помістити значну кількість деталей через різний модельний ряд підприємства, а тому послідовність виробництва впливає на рішення щодо розміщення запасів. У результаті чого спостерігається постійна адаптація розміщення деталей відповідно до замовлення, що забезпечує максимальну ефективність технологічного процесу.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Постачання будь-якого виробництва матеріальними ресурсами є першорядним управлінським завданням. Його значимість полягає у зведенні до мінімуму збоїв та нестабільності надходження ресурсів, які можуть призвести до незворотних наслідків, а точніше до збільшення тривалості виготовлення виробів, зменшення клієнтів і, отже, зниження прибутку підприємства. Головним завданням логістичних зв'язків виступає поділ роботи по стадіях руху товару, яке веде до поділу окремих процесів. Розв'язання цього завдання здійснюється шляхом організації в рамках єдиного процесу переміщення матеріалів та інформації по всьому ланцюгу від виробника до споживача, забезпечення взаємодії окремих стадій та узгодження дій всіх учасників логістичного ланцюга.

Література

1. Battini D., Boysen N., Emde S. Just-in-time supermarkets for part supply in the automobile industry. *Journal of Management Control*. 2013. Vol. 24. P. 209-217.
2. Dudenhofer F. Wie man Autos mit Gewinn baut. *Euro am Sonntag*. 2006. Heft 34. P. 66-67.
3. Krcal H.-C. Strategische Implikationen einer geringen Fertigungstiefe für die Automobilindustrie. *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*. 2008. Vol. 60. P. 778-808.
4. Boysen N., Emde S., Hoeck M., Kauderer M. Part logistics in the automotive industry: Decision problems, literature review and research agenda. *European Journal of Operational Research*. 2015. Vol. 242(1). P. 107-120.
5. Swaminathan J.M., Nitsch T.R. Managing product variety in automobile assembly: The importance of the sequencing point. *Interfaces*. 2007. Vol. 37. P. 324-333.
6. Hua S.Y., Johnson D.J. Research issues on factors influencing the choice of kitting versus line stocking. *International Journal of Production Research*. 2010. Vol. 48. P. 779-800.
7. de Souza M.C., de Carvalho C.R.V., Brizon W.B. Packing items to feed assembly lines. *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 184. P. 480-489.
8. Boysen N., Golle U., Rothlauf F. The car resequencing problem with pull-off tables. *BuR Business Research Journal*. 2011. Vol. 4. P. 276-292.

9. Boysen N., Fliedner M., Scholl A. Production planning of mixed-model assembly lines: Overview and extensions. *Production Planning & Control*. 2009. Vol. 20. P. 455-471.
10. Williams G. Progress towards customer pull distribution. Research paper 4/2000. The International Car Distribution Programme, Solihull. 2000.
11. Monden Y. Toyota production system: An integrated approach to just-in-time, 4th edition. Cambridge, Massachusetts: Productivity Press. 2012. 521 p.
12. Volling T., Matzke A., Grunewald M., Spengler T.S. Planning of capacities and orders in build-to-order automobile production: A review. *European Journal of Operational Research*. 2012. Vol. 224. P. 240-260.
13. Klug F. Logistikmanagement in der automobilindustrie. Berlin: Springer. 2010. 338 p.
14. Chopra S., Meindl P. Supply chain management. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 2012. P. 409-439.
15. Yano C.A., Bozer Y., Kamoun M. Optimizing dock configuration and staffing in decentralized receiving. *IIE Transactions*. 1998. Vol. 30. P. 657-668.
16. Gupta D., Denton B. Appointment scheduling in health care: Challenges and opportunities. *IIE Transactions*. 2008. Vol. 40. P. 800-819.
17. Boysen N., Briskorn D., Tschuke M. Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departures. *OR Spectrum*. 2013. Vol. 35. P. 479-504.
18. Yu W., Egbelu P.J. Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 184. P. 377-396.
19. Gu J., Goetschalckx M., McGinnis M.F. Solving the forward reserve allocation problem in warehouse order picking systems. *Journal of the Operational Research Society*. 2010. Vol. 61. P. 1013-1021.
20. Limere V. Optimising part feeding in the automotive assembly industry: Deciding between kitting and line stocking. *International Journal of Production Research*. 2012. Vol. 50. P. 4046-4060.
21. de Koster R., Le-Duc T., Roodbergen K.J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*. 2007. Vol. 182. P. 481-501.
22. Battini D., Boysen N., Emde S. Just-in-time supermarkets for part supply in the automobile industry. *Journal of Management Control*. 2013. Vol. 24. P. 209-217.
23. Battini D., Faccio M., Persona A., Sgarbossa F. Design of the optimal feeding policy in an assembly system. *International Journal of Production Economics*. 2009. Vol. 121. Issue 1. P. 233-254.

References

1. Battini, D., Boysen, N., Emde, S. (2013). «Just-in-time supermarkets for part supply in the automobile industry». *Journal of Management Control*. Vol. 24. pp. 209-217.
2. Dudenhofer, F. (2006). «Wie man Autos mit Gewinn baut». *Euro am Sonntag*. Heft 34. pp. 66-67.
3. Krcal, H.-C. (2008). «Strategische Implikationen einer geringen Fertigungstiefe für die Automobilindustrie». *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*. Vol. 60. pp. 778-808.
4. Boysen, N., Emde, S., Hoeck, M., Kauderer, M. (2015). «Part logistics in the automotive industry: Decision problems, literature review and research agenda». *European Journal of Operational Research*. Vol. 242(1). pp. 107-120.
5. Swaminathan, J.M., Nitsch, T.R. (2007). «Managing product variety in automobile assembly: The importance of the sequencing point». *Interfaces*. Vol. 37. pp. 324-333.
6. Hua, S.Y., Johnson, D.J. (2010). «Research issues on factors influencing the choice of kitting versus line stocking». *International Journal of Production Research*. Vol. 48. P. 779-800.
7. de Souza, M.C., de Carvalho, C.R.V., Brizon, W.B. (2008). «Packing items to feed assembly lines». *European Journal of Operational Research*. Vol. 184. pp. 480-489.
8. Boysen, N., Golle, U., Rothlauf, F. (2011). «The car resequencing problem with pull-off tables». *BuR Business Research Journal*. Vol. 4. pp. 276-292.
9. Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A. (2009). «Production planning of mixed-model assembly lines: Overview and extensions». *Production Planning & Control*. Vol. 20. pp. 455-471.
10. Williams, G. (2000). Progress towards customer pull distribution. Research paper 4/2000. The International Car Distribution Programme, Solihull. Great Britain.
11. Monden, Y. (2012). Toyota production system: An integrated approach to just-in-time, 4th edition. Productivity Press. Cambridge. Massachusetts.
12. Volling, T., Matzke, A., Grunewald, M., Spengler, T.S. (2012). «Planning of capacities and orders in build-to-order automobile production: A review». *European Journal of Operational Research*. Vol. 224. pp. 240-260.
13. Klug, F. (2010). Logistikmanagement in der automobilindustrie. Springer. Berlin. Germany.
14. Chopra, S., Meindl, P. (2012). Supply chain management. 5th ed. NJ: Prentice Hall. Upper Saddle River. USA.
15. Yano, C.A., Bozer, Y., Kamoun, M. (1998). «Optimizing dock configuration and staffing in decentralized receiving». *IIE Transactions*. Vol. 30. pp. 657-668.
16. Gupta, D., Denton, B. (2008). Appointment scheduling in health care: Challenges and opportunities. *IIE Transactions*. Vol. 40. pp. 800-819.
17. Boysen, N., Briskorn, D., Tschuke, M. (2013). «Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departures». *OR Spectrum*. Vol. 35. pp. 479-504.
18. Yu, W., Egbelu, P.J. (2008). «Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage». *European Journal of Operational Research*. Vol. 184. pp. 377-396.
19. Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, M.F. (2010). «Solving the forward reserve allocation problem in warehouse order picking systems». *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 61. pp. 1013-1021.
20. Limere, V. (2012). «Optimising part feeding in the automotive assembly industry: Deciding between kitting and line stocking». *International Journal of Production Research*. Vol. 50. pp. 4046-4060.
21. de Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K.J. (2007). «Design and control of warehouse order picking: A literature review». *European Journal of Operational Research*. Vol. 182. pp. 481-501.
22. Battini, D., Boysen, N., Emde, S. (2013). «Just-in-time supermarkets for part supply in the automobile industry». *Journal of Management Control*. Vol. 24. pp. 209-217.
23. Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F. (2009). «Design of the optimal feeding policy in an assembly system». *International Journal of Production Economics*. Vol. 121. Issue 1. pp. 233-254.

Стаття надійшла до редакції 15.07.2023 р.