

УДК 656.078.1

ПОБУДОВА ПОСТІЙНО КЕРОВАНОЇ ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСОВОЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПОСТАЧАНЬ ШВИДКОПСУВНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

*Загурський О.М. д.е.н., професор,
Савченко Л.А. к.т.н., доцент (НУБіП України)*

В статті розроблено постійно керовану температурно-часову логістичну систему, в основу якої покладено концепції «контрольованої якості логістики» та проміжних транспортних вузлів. Її застосування дасть можливість врахувати низку ключових факторів (час і маршрути постачань; об'єми вантажу; чутливість товару до зміни температурних режимів; вартість ризиків) та сприятиме більшій ефективності збереження якості швидкопсувних харчових продуктів протягом всього ланцюга постачань.

Ключові слова: логістична система, проміжні транспортні вузли, температурно-часовий контроль, швидкопсувні продукти.

CONSTRUCTION OF A CONSTANTLY CONTROLLED TEMPERATURE AND TIMELOGISTICS SYSTEM FOR THE SUPPLY OF PERISHABLE FOOD PRODUCTS

*Zagurskiy O., D.Sc.(Economics), Professor,
Savchenko L.A. Ph.D., Associate Professor (NULES Ukraine)*

Today's global food supply chains face a variety of social problems that are constantly deepening. As a result, many of them operate in a "less than ideal" state, with the result that approximately one-third of the food produced for human consumption is lost. The logistics system proposed in article is based on the concepts of "controlled quality of logistics", intermediate transport hubs, technology "blockchain" and "smart contracts". In the system the exchange of

© Загурський О.М.,
Савченко Л.А.

Вісник економіки транспорту і промисловості № 81-82, 2023

information received from the temperature-time indicator is carried out in two directions: 1) between the participants of the supply chain – this information affects the decision on quality control of the goods (condition for a specific period of time) and decisions on general logistics (temperature conditions of storage of goods, required volumes and places of supply); 2) for the participants of the supply chain themselves – this information influences decisions on quality control and local or dynamic logistics (schedules and terms of delivery, transfer of products from frozen to chilled storage or vice versa). Applying certain technologies when choosing the configuration of a constantly controlled temperature and logistics system SCTTLS, a number of key factors will be taken into account, namely: time and routes of supply, cargo volumes; sensitivity of the goods to changes in temperature regimes; the cost of risks of product promotion along the supply chain.

As an example, the model of organization of adjacent supply of various categories of dairy products by temperature is considered and it is proposed in the model to use active technologies – special vehicles and intermediate cooling warehouses to reduce the temperature of products (long distances, warm season) or passive technologies – standard vehicles (short distances, cold season), depending on the conditions of supply. The use of such a system can contribute to greater efficiency in preserving the quality of perishable food products throughout the entire supply chain and reducing their price for the final consumer.

Keywords: *logistics system, intermediate transport nodes, temperature and time control, perishable products.*

Постановка проблеми. Проблема втрат харчових продуктів на всіх етапах транспортно-логістичного ланцюга притаманна більшості економік світу і вирішувати її потрібно як на національному рівні для підвищення ефективності аграрного сектору економіки та добробуту населення країни, так і на міжнародному рівні для розв'язання складних проблем, пов'язаних з глобальною продовольчою безпекою та запобігання голоду. Сучасні глобальні ланцюги постачання харчових продуктів стикаються з різноманітністю соціальних проблем (пандемія коронавірусу, війна в Україні), які постійно поглиблюються. Їх наслідком є те, що, багато з них працюють в стані «нижче ідеального», в результаті чого приблизно одна третина харчових продуктів, вироблених для споживання людьми, втрачається. Ключовим фактором, що сприяє такій високій кількості відходів, є нездатність контролювати та підтримувати необхідну температуру в ланцюгах постачання харчових продуктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглядаючи методи, способи та прийоми управління ланцюгами

постачання швидкопсувних харчових продуктів слід зазначити, що вченими і практиками виділяються три основні напрями їх реалізації: технологію холодних ланцюгів «Cold Chain»; технологію Інтернету речей та технологію оптимальних маршрутів. До прихильників першого відносяться E. Gogou, G. Katsaros, E. Derens, G. Alvarez, and P. Taoukis [4]; S. Shashi, P. Centobelli, R. Cerchione, and M. Ertz [8]. Другого – Y. Bouzembrak, M. Klüche, A. Gavai, and H. Marvin [2]; A. Cil, D. Abdurahman and I. Cil [3]; K. Gupta, N. Rakesh [5]; S. Nirenjena, D. Lubin Bala Subramanian and M. Monisha [6]. Третього – A. Alvarez, J-F. Cordeau, R. Jans, P. Munari and R. Morabito [1]; Z. Rafie-Majd [7] та низка інших. Застосування будь-якої із технологій в ланцюгах постачання швидкопсувної харчової продукції має як переваги, так і недоліки, при цьому дуже важливо розуміти, що єдиного «готового», рішення не існує, адже склад продукту, маршрут, кліматичні умови, метод логістичного забезпечення та ефективність транспортного процесу сильно відрізняються для різних продуктів у різних країнах світу.

Метою статті є розробка постійно керованої температурно-часової логістичної системи, яка сприяє більшій ефективності збереження якості швидкопсувних харчових продуктів протягом всього ланцюга постачань.

Виклад основного матеріалу дослідження. У більшості випадків сучасне управління ланцюгами постачань швидкопсувних харчових продуктів включає контроль та регулювання

температури, що сфокусовано на простому відстеженні температури продукту в логістичному ланцюзі, а не на обробці декількох каналів та управлінні окремо кожним з них. Подолання вище визначених недоліків може сприяти система, що заснована на архітектурі «Інтернету речей» (IoT) і Міжнародному стандарті з безпеки та якості харчових продуктів (ISO 22000) (рис. 1).

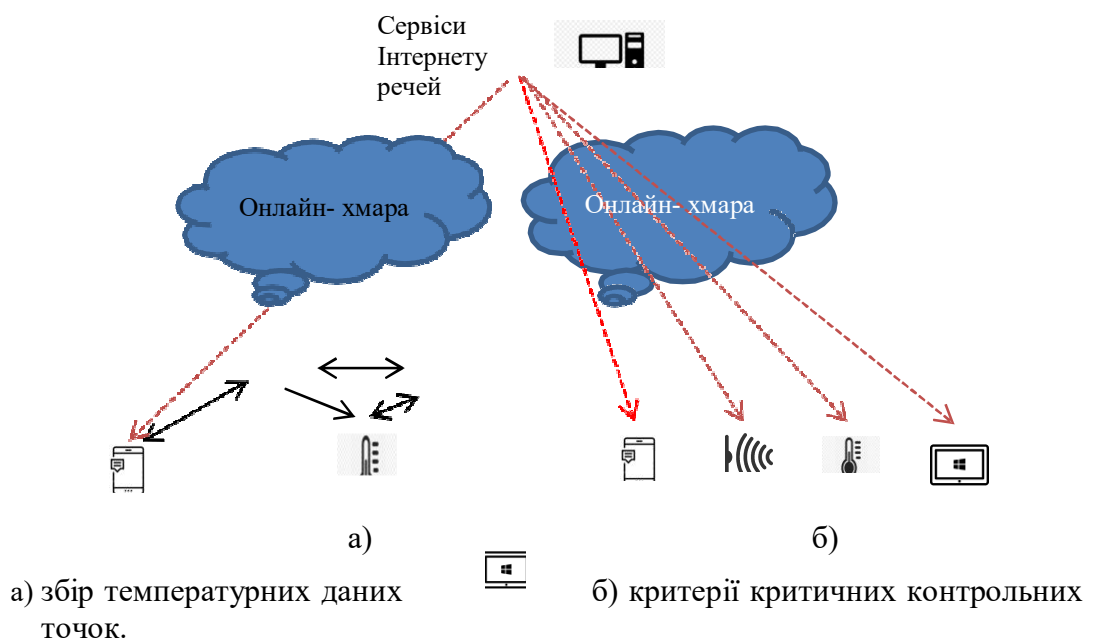


Рис. 1 Схема організації відстеження процесу перевезення вантажу з використанням технології IoT побудованої основи температурно-часового індикатора (ТЧІ):

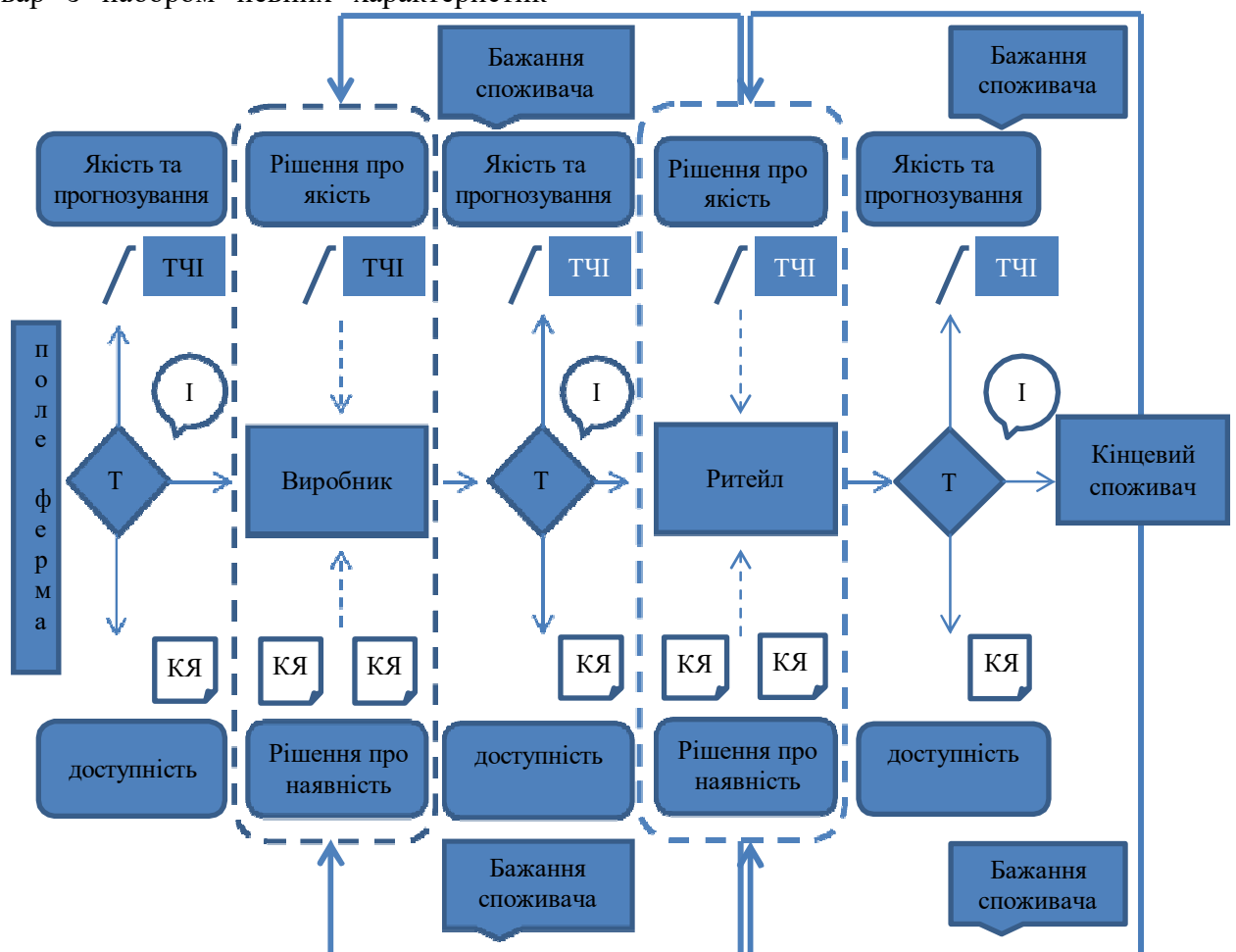
Джерело: побудовано авторами

Вона побудована на основі температурно-часового індикатора (ТЧІ), в якому використовуються бездротові сенсори для збору температурних даних протягом усього ланцюга постачань (від холодильного зберігання сировини до роздрібної торгівлі) (рис. 1а) і впроваджуються положення критеріїв критичних контрольних точок перевірки якості (КЯ) протягом процесу постачань (рис. 1б). За результатами постійного та ретельного відслідковування температури швидкопсувних харчових продуктів створюються контрольні діаграми для

кожної точки процесу, що дає можливість переводити деякі продукти із замороженого зберігання на охолоджене, для подолання недоліків, пов'язаних із замороженим зберіганням (високоенергетичне споживання, погіршення смаку, обмежена кількість продажів). А оскільки існує пряма залежить зміни якості від зміни температурних умов, важливе значення має не лише моніторинг температурного режиму, а і моніторинг зміни якості продукту з плином часу.

Для більшої ефективності збереження якості швидкопсувних харчових продуктів протягом всього ланцюга постачань пропонується створити єдину постійно керовану температурно-часову логістичну систему (ПКТЧЛС). В основу якої покласти концепцію «контрольованої якості логістики», запропоновану Ван дер Ворстом і колегами [9]. За такої структури, модель ПКТЧЛС, буде мати дві вихідні точки (рис. 2). З одного боку ланцюг постачань швидкопсувних харчових продуктів, що починається з поля (ферми) на яких є товар з набором певних характеристик

(якісні характеристики, термін придатності, обсяг та місце знаходження), інформація про які надходить безпосередньо усім учасникам ланцюга постачань. Теоретично це описується як реєстрація та обмін інформацією (І), що проходить від поля до споживача через виробника, продавця та транспортну компанію (Т). З іншого боку, кінцевий споживач, що ділиться з продавцем своїми бажаннями щодо якісних характеристик продукту, які теоретично визначаються перевагами споживача, що формують основні атрибути продукції.



Т – транспортні засоби; І – інформація про стан товару в дорозі; К – контроль якості;
ТТІ – температурно-часовий індикатор.

—> інформація між учасниками ланцюга постачань;

—> інформація, що впливає на рішення щодо контролю якості;

- - -> інформація, що впливає на рішення про переведення продуктів із замороженого в охолоджене зберігання або навпаки.

Рис. 2 Застосування структури контрольованої якості логістики в моделі ПКТЧЛС
Джерело: побудовано на основі [16].

Вимоги споживача передаються від ланки до ланки в ланцюзі постачань. Тому усі його учасники володіють інформацією про характеристики товару та вимоги замовника. Обмін інформацією, отриманою від температурно-часового індикатора (ТЧІ), в запропонованій нами моделі ПКТЧЛС здійснюється в двох напрямках:

1) між учасниками ланцюга постачань (товсті стрілки). Ця інформація впливає на рішення з контролю якості товару (стан на конкретний проміжок часу) та рішення щодо загальної логістики (температурні режими зберігання товару, необхідні обсяги та місця постачань);

2) безпосередньо в учасників ланцюга постачань (тонкі стрілки). Ця інформація впливає на рішення щодо контролю якості (суцільні лінії) та місцевої або динамічної логістики (пунктирні лінії) – графіки та терміни постачань, переведення продуктів із замороженого зберігання на охолоджене чи навпаки, що може здійснюється на кожному етапі ПКТЧЛС швидкопсувних харчових продуктів.

Нарешті, кожен учасник в процесі просування товару по ланцюгу постачань змінює його та випускає свій кінцевий продукт, який також характеризується своєю якістю та доступністю. Відповідно критичні точки контролю якості (КЯ) мають розподіляються на всіх етапах постачання.

Вони можуть знаходитися на прийомі сировини, під час переробки та/або перед відправкою. А оскільки якість продукції розуміється як динамічна змінна, потік партії не є лінійним, як показано на рисунку 3, він змінюється по мірі вимірювання якості товару та прогнозування його терміну придатності. Для такої системи контролю вкрай

важливим є взаємозв'язок між температурою та якістю харчових продуктів. В цілому, ступінь і швидкість погіршення якості продуктів при зберіганні (або транспортуванні) залежить від часу зберігання, температури зберігання та різних констант (наприклад, енергії активації чи газової постійної).

Також необхідно контролювати продукти протягом усього їх життєвого циклу, щоб визначити статус якості в реальному часі. Проте, логістика розподілу швидкопсувних харчових продуктів через обмеження, пов'язані з швидкопсувними характеристиками, апіорі має більш низьку ефективність ніж логістика розподілу взагалі. Велика кількість свіжої їжі не доходить до кінцевого споживача або через фактичне псування або через її не ідеальний стан. Крім того харчові продукти тим більш привабливі для споживачів, чим менший термін пройшов з дати їх виробництва. Інакше кажучи, люди часто вважають за краще «свіжі» продукти ніж «залежалі». За таких обставин ідеальним логістичним принципом буде не «ЛІТ – точно в строк», а «QР – максимально швидко» на всіх етапах постачань швидкопсувних харчових продуктів. Застосовуючи даний принцип, запаси продукції переводяться з активів у пасиви і всі зусилля зосереджуються на їх скорішому просуванні по ланцюгу до кінцевого споживача та продажу. Таким чином, розмір запасу має визначатися тільки поточними потребами клієнтів-рітейлерів. Цей принцип не потерпить помилок виробництва, потребує додаткових витрат на забезпечення ритмічності постачань, виробництва та збуту, однак зростання якості продукції позитивно позначиться на продажах і в кінцевому рахунку зможе вивести ланцюг постачань на рівень вище конкурентів з репутацією надійної компанії.

Елементи ПКТЛС	Пасивні		Комбіновані	Активні	
Транспорт	Планування і контроль часу постачань	Ізотермічний	Попереднє охолодження, додаткові охолоджуючі елементи (сухий лід, евтектичні плити тощо)	Підтримання необхідної температури в кузові	Рефрижератор
Транспортне пакування	Температурний скринінг	Ізотермічне		Підтримання необхідної температури продукту	Ізотермічне з активним охолодженням
Контроль параметрів	Одноразові індикатори, які змінюють колір			Локальний контроль та регулювання температури	
	Датчики з активним оповіщенням			Віддалений контроль та регулювання температури	
Моніторинг переміщень	Моніторинг маршруту за контрольними точками	Запис маршруту у пам'яті GPS модуля	GPS контроль маршруту в режимі реального часу	Контроль маршруту в режимі реального часу	
Збереження та обробка даних	Системи збору та збереження даних				
	Програмне забезпечення для збереження та обробки даних				
	Системи забезпечення безпеки даних				
					
Система управління транспортом	Система управління якістю		Система управління ризиками	Система управління складами	

*Рис. 3 Загальна схема постійно керованої температурно-часової логістичної системи
Джерело: складено авторами*

Разом з тим споживач, що є кінцевою ланкою ПКТЧЛС і формує основні атрибути продукції окрім основних споживчих характеристик має й економічні характеристики, а саме споживчу спроможність. Отже при виборі продукту окрім якісних характеристик завжди враховує і цінові, й за відносно однакової якості завжди надасть перевагу продукту з меншою ціною (особливо це стосується країн з низьким прожитковим рівнем). Тому за організації транспортно-логістичних систем постачань швидкопсувних харчових продуктів виникає природний компроміс між ефективністю та свіжістю [10]. А враховуючи, що процес погіршення є унікальним для кожного виду продукту, спільне використання декількох видів

продукції при транспортуванні стає якщо не можливим, то принаймні досить важким. Адже за перевезення збірних партій вантажів вони можуть мати різний температурний режим від - 20° С до + 20° С. Більшість охолоджувальних пристроїв на автомобілях-рефрижераторах спроектовані лише на підтримання температури в інтервалі +2 ... + 4°С і не здатні охолоджувати «теплі» товари. Відповідно необхідно розділяти такі товари або спеціальними теплоізолювані перегородками, або перевозити окремим рухомим складом, що в свою чергу збільшує вартість товару.

Далі для прикладу нами розглянуто проблему організації постачань молочної продукції, більшість найменувань якої вимагає дотримання суворого

температурного режиму від +4° С до +6°С на всіх етапах просування продукту по ланцюгу постачань від ферми до кінцевого споживача. Однак, серед них є такі, для яких цей інтервал не критичний і вони можуть зберігатися за температури +20°С, наприклад ультрапастеризоване молоко, згущене молоко з цукром тощо. Відповідно клієнти формуючи замовлення, для зменшення вартості транспортної складової, нерідко вимагають постачань різноманітної партії продуктів, що включає в себе всі категорії молочних товарів по температурному режиму.

Це означає, що в подальшому в один автомобіль-рефрижератор будуть завантажені і охолоджені, і неоохолоджені товари. А оскільки потужності більшості автомобілів-рефрижераторів вистачає тільки для підтримки низької температури повітря в кузові, вони не справляються з теплом від неоохолоджених продуктів, внаслідок чого відбувається нагрівання повітря та продукції, що вимагає охолодження. При прийманні такої партії вантажу на складі клієнта виникають проблеми, так як температурний режим доставки порушений, відповідно товар може бути не прийнятим і автомобіль буде відправлений назад виробнику. Навіть

якщо потім на підприємстві результати експертизи даної партії будуть задовільними, в подальшому цю партію може бути складно реалізувати, тому що термін реалізації, який залишився після всіх заходів виявляється замалим. З огляду на це нами пропонується за постачання молочних і подібних до них продуктів на далекі відстані в ПКТЧЛС використовувати проміжні охолоджувальні склади на шляху проходження автомобіля для зниження температури продукції. Тоді під час руху рефрижератора температура в кузові може підвищуватися від мінімально допустимого значення +2°С до максимального +6°С. У визначеному місці рефрижератор заїжджає на проміжний охолоджувальний склад, продукція розвантажується, охолоджується назад до +2°С і потім знову завантажується на рефрижератор і продовжується подальший рух транспортного засобу. Таким чином вдається знизити вартість транспортування, так як буде можливим транспортування збірних партій швидкопсувних харчових вантажів, які мають різний температурний режим та використання охолоджуючого пристрою автомобіля не на повну потужність. Закономірність, що дозволяє оцінити доцільність використання проміжних складів має наступний вигляд:

$$\sum C = L * M * C_{т.км} + \frac{L}{V_T} * C_{охол}(N) + N * M * C_p + N * M * t_{cp} * C_{зб} + N * M * C_n + M * (C_{пр} + L * C_{т.км}) * D(T_0) \quad (1)$$

де $\sum C$ – загальні витрати;

L – відстань між виробником і рієлтом;

M – вага партії вантажу;

$C_{т.км}$ – вартість 1 т.км роботи рухомого складу;

V_T – технічна швидкість;

$C_{охол}(N)$ – вартість 1 години роботи охолоджувального пристрою за заданої потужності, обернено пропорційно залежна від кількості проміжних складів;

N – кількість проміжних складів на шляху постачання;

C_p – вартість розвантаження і тальманської послуг 1 тонни продукції;

t_{cp} – середній час перебування вантажу на проміжному складі;

$C_{зб}$ – вартість 1 години зберігання вантажу;

C_n – вартість навантажувальних і підготовчих робіт 1 тони вантажу;

$C_{пр}$ – середня вартість 1 тони продукції у партії;

$D(T_0)$ – функція залежності частки нереалізованої продукції від сумарного часу постачання.

Рішення щодо доцільності використання даної технології має прийматися по транспортно-логістичній системі постачань кожного конкретного швидкопсувного харчового продукту. А враховуючи те, що елементи забезпечення та контролю режимів транспортування

холодового ланцюга постачань постійно керованої температурно-часової швидкопсувних харчових продуктів логістичної системи може бути, поділяються на три типи: пасивні, активні та комбіновані системи, то загальна схема 4.

Фактори	Пасивна схема ПКТЧЛС			
Чутливість вантажу до режиму транспортування	Низька	Середня		Висока
Об'єм вантажу	Коробка	Палета	Не повне завантаження	Повне завантаження
Час постачання	Не тривалий	Середній	Тривалий	
Вартість ризиків втрати якості продукту	Низька	Середня	Висока	
Тип транспортного засобу	Стандартний	Ізотермічний	Рефрежератор	
Маршрутизація	Пряме постачання	Крос-докінг	Мультимодальне постачання	Проміжні охолоджувальні склади
Транспортне пакування	Стандартне	Ізотермічне	Пасивне охолодження	Активне охолодження
Система контролю	Відсутня	Одноразові індикатори на пакуванні	Датчики в середині кузова	Online - моніторинг
Надійність ланцюга постачань	Низька	Середня	Висока	
Витрати ланцюга постачань	Низькі	Середні	Високі	

Рис. 4 Профіль пасивної постійно керованої температурно-часової логістичної системи

Джерело: складено авторами

Обраний для прикладу профіль пасивної ПКТЧЛС має суттєві обмеження, він може бути застосований лише на коротких маршрутах постачання швидкопсувних харчових продуктів і тільки в холодну пору року, але зате він має і низку переваг, таких як мінімальні витрати та відсутність вимог до обладнання. В міру ускладнення профілю ПКТЧЛС (застосування активного профілю) витрати на перевезення зростають, але це зростання буде виправдано підвищенням якості транспортування та зниженням ризиків псування продукції.

Висновки. Логістика розподілу швидкопсувних харчових продуктів через обмеження, пов'язані з швидкопсувними характеристиками має більш низьку ефективність ніж логістика розподілу

взагалі. Велика кількість свіжої їжі не доходить до кінцевого споживача або через фактичне псування або через її не ідеальний стан. Запропонована постійно керована температурно-часова логістична система (ПКТЧЛС) зменшує ці недоліки та сприяє більшій ефективності збереження якості швидкопсувних харчових продуктів протягом всього ланцюга постачань. В її основу покладено концепції «контрольованої якості логістики», проміжних транспортних вузлів, технології «блокчейн» та «розумних контрактів». Застосувавши визначені технології при виборі конфігурації постійно керованої температурно-логістичної системи ПКТЧЛС буде врахована низка ключових факторів, а саме: час і маршрути постачань; об'єми вантажу; чутливість товару до зміни

температурних режимів; вартість ризиків просування товару по ланцюгу постачань. Застосування ПКТЧЛС і проміжних охолоджувальних складів на шляху проходження автомобіля при постачанні збірних партій молочної продукції на далекі відстані свідчить про можливість збереження якості швидкопсувної продукції та зниження вартості транспортування.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alvarez A., Cordeau J-F., Jans R., Munari P., Morabito R. Internet-of-things enabled supply chain planning and coordination with big data services: Certain theoretic implications, *Journal of Management Science and Engineering*, 2020, 5, (1), 1-22.
2. Bouzembrak Y., Klüche M., Gavai A., Marvin H. Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis, *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 94, 54-64.
3. Cil A.Y., Abdurahman D., Cil I. Internet of Things enabled real time cold chain monitoring in a container port. *Journal of Shipping and Trade*. 2022, 7, 9 <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00110-z>
4. Gogou E. Katsaros G., Derens E., Alvarez G., Taoukis P.S. Cold chain database development and application as a tool for the cold chain management and food quality evaluation, *International Journal of Refrigeration*, 2015, 52, 109-121.
5. Gupta K., Rakesh N. IoT based solution for food adulteration. *Smart innovation, systems and technologies*, 2018, 79, 9-18.
6. Nirenjena S., Lubin Bala Subramanian D., Monisha M. Advancement in monitoring the food supply chain management using IoT. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2018, 119 (14). 1193-1196.
7. Rafie-Majd Z. Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with

uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm, 2018. 40. URL:

<https://proxy.library.spbu.ru:2069/>

8. Shashi S., Centobelli P., Cerchione R. and Ertz, M. Food cold chain management: what we know and what we deserve, *Supply Chain Management*, 2020, 26 No. 1, 102-135.
9. Van der Vorst J., Van Kooten O., & Luning P. Towards a diagnostic instrument to identify improvement opportunities for quality controlled logistics in agrifood supply chain networks. *International Journal on Food System Dynamics*, 2011, 2(1), 94-105.
10. Zagurskiy O., Titova L. Problems and Prospects of Blockchain Technology Usage in Supply Chains, *Journal of Automation and Information Sciences*, 2019, 11. 63-74.

REFERENCES

1. Alvarez A., Cordeau J-F., Jans R., Munari P., Morabito R. (2020) Internet-of-things enabled supply chain planning and coordination with big data services: Certain theoretic implications, *Journal of Management Science and Engineering*, 5, (1), 1-22.
2. Bouzembrak Y., Klüche M., Gavai A., Marvin H. (2019) Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis, *Trends in Food Science & Technology*, 94, 54-64.
3. Cil A.Y., Abdurahman D., Cil I. (2022) Internet of Things enabled real time cold chain monitoring in a container port. *Journal of Shipping and Trade* volume 7, 9 <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00110-z>
4. Gogou E. Katsaros G., Derens E., Alvarez G., Taoukis P.S. (2015) Cold chain database development and application as a tool for the cold chain management and food quality evaluation, *International Journal of Refrigeration*, 52, 109-121.
5. Gupta K., Rakesh N. (2018) IoT based solution for food adulteration. *Smart innovation, systems and technologies*, 79, 9-18.

6. Nirenjena S., Lubin Bala Subramanian D., Monisha M. (2018) Advancement in monitoring the food supply chain management using IoT. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119 (14). 1193-1196.
7. Rafie-Majd Z. (2018) *Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm*, 40. URL: <https://proxy.library.spbu.ru:2069/>
8. Shashi S., Centobelli P., Cerchione R. and Ertz, M. (2020) Food cold chain management: what we know and what we deserve, *Supply Chain Management*, 26 No. 1, 102-135.
9. Van der Vorst J., Van Kooten O., & Luning P. (2011) Towards a diagnostic instrument to identify improvement opportunities for quality controlled logistics in agrifood supply chain networks. *International Journal on Food System Dynamics*, 2(1), 94-105.
10. Zagurskiy O., Titova L. 2019 Problems and Prospects of Blockchain Technology Usage in Supply Chains. *Journal of Automation and Information Sciences*, 11. 63-74.