

DOI: 10.32347/2786-7269.2026.16.620-637

УДК 658.78

к.т.н., доцент **Човнюк Ю.В.**,
ychovnyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0608-0203,
к.т.н., доцент **Приймаченко О.В.**,
prymachenko.ov@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5125-8472,
Зварич І.А.,
zvarich.dp@gmail.com, ORCID: 0009-0008-2063-5608,
Зварич О.А.,
zvarich.dp@gmail.com, ORCID: 0009-0008-2063-5608,
Чередніченко О.П.,
opcherednichenko@gmail.com, ORCID 0000-0003-0445-2816,
Київський національний університет будівництва і архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДИСЛОКАЦІЇ СКЛАДІВ ПРИ ЇХ РОЗМІЩЕННІ У СКЛАДСЬКІЙ МЕРЕЖІ МІСТ

Показано, що рішення про вибір місцеположення складів приймаються з позицій як мікроекономіки, так і макроекономіки компанії, а також у залежності від задач, котрі ця компанія вирішує. Показано, що проблема вибору розміщення складів стає актуальною за певних конкретних містобудівних обставин. Вказані основні фактори, які впливають на вибір місцезнаходження складу. Розглянуті основні стратегії розміщення складів: а) стратегія розміщення складів відносно ринків збуту; б) стратегія розміщення складів поблизу виробництва; в) стратегія проміжного розміщення складів (стратегія розміщення складів логістичних посередників); г) стратегія розміщення складів у складській мережі міст, яка враховує їх географічне положення. При визначенні числа та оптимальної дислокації складів компанії останнім необхідний великий об'єм вихідної інформації, зміст і параметри якої висвітлені у роботі. Наведений критерій оптимізації розміщення складу у певній територіальній зоні міста та алгоритм його реалізації. Вказано, що при прийнятті обґрунтованого рішення щодо формування складської мережі та визначення дислокації слід керуватись двома основними принципами: 1) мінімальними сукупними витратами, пов'язаними з експлуатацією складської мережі, з урахуванням витрат на будівництво; 2) максимальним рівнем обслуговування споживачів. У випадку відповідності цим критеріям можна починати розробку проекту складського господарства. Зазначено, що раціональне розміщення складського господарства суттєво впливає на загальні величини вантажопотоків і сприяє вирішенню проблеми скорочення транспортних та складських витрат.

Ключові слова: моделювання; оптимізація; дислокація складів; складські мережі; стратегії розміщення; критерії оптимізації розміщення складу; територіальні зони.

Постановка проблеми.

Рішення щодо вибору місцерозташування складів зазвичай приймається з позицій як макроекономіки, так і мікроекономіки компанії, у залежності від задач, які вона вирішує. У макроекономічній перспективі питання дислокації складів розробляється з позиції вибору раціонального географічного розміщення складів (для усіх складських потужностей) з метою вдосконалення постачання матеріальних ресурсів і покращення пропозицій компанії на ринку за рахунок підвищення якості обслуговування споживачів та (або) зниження логістичних витрат. У мікроекономічній перспективі розглядається вибір конкретного місця у обраному географічному районі із урахуванням усіх, впливаючих на цей вибір факторів.

Проблема вибору розміщення складів стає актуальною за наступних обставин 1) завоювання нових ринків збуту з виходом у нові райони; 2) при порушенні строків оренди складів, які використовуються; 3) при орієнтації на нових постачальників; 4) при географічному розширенні клієнтської бази; 5) при змінах у політиці обслуговування (при підвищенні рівня сервісу); 6) при злитті чи поглинанні структур бізнесу; 7) при розширенні складських потужностей і т.д.

Питання розширення складської мережі досить часто постає перед компаніями й при зміні об'ємів споживання, розвитку нових виробництв та технологічних інновацій, конкуренції, яка посилюється. Більшість торгових фірм традиційно розглядають це питання через призму будівництва нових власних складів чи купівлі у власність вже діючих складів з метою більш ефективного обслуговування ринку. Можливі також й комбіновані варіанти: будівництво власних складських потужностей розповсюджується лише на центральний склад, а всі інші райони обслуговують через орендовані склади чи залучаючи мережу обслуговування споживачів (МОС).

При виборі фірмою МОС проблема вирішується доволі просто й зводиться лише до розрахунку необхідної складської потужності вибору запропонованих логістичними операторами варіантів. При передачі функції управління запасами логістичному провайдеру автоматично усі проблеми щодо просування товарних потоків і, власне, розподілу їх у складській мережі перекладаються на посередника.

Питанням розміщення складів у мережі логістики компанія займається у випадку розвитку власної логістичної інфраструктури або при змішаному варіанті форм власності складів.

Задача визначення місцезнаходження кожного складу нерозривно пов'язана із визначенням числа складів.

Проблеми розміщення складської мережі у сучасних умовах стають доволі актуальними і для компаній, які виступають на ринку у якості логістичних посередників із наданням складських послуг. Розширення складської мережі надає їм доволі значні переваги за рахунок збільшення ринку споживачів, котрі розширюють ринки збуту, але при цьому обмежують число учасників мережі розподілу, намагаючись передати просування матеріального потоку у руки одного логістичного посередника.

Рішення щодо оптимального розміщення складів у мережі повинно стати результатом дослідження розрахунків, де вирішальне значення має ефективність функціонування складу та його економічна доцільність у процесі подальшої експлуатації.

Географічне місце розташування складу справляє суттєвий вплив на рівень витрат щодо транспортування (на склад і зі складу), складування вантажів, а значить на рівень та вартість логістичних послуг, які пропонуються покупцям.

Для складів виробничої логістики вирішення даної проблеми спрощується тим, що розміщення цих складів ведеться на основних виробничих площах самої фірми, а тому залишається вирішити лише питання розміру складу. Набагато складніше виглядає справа для складів постачальницької та розподільчої логістики у зв'язку зі збільшенням числа споживачів складських послуг та географічної розкиданості клієнтів фірми.

Аналіз публікацій по темі дослідження.

Ще Едгар Гувер розробив [2] традиційну систему розміщення складів (типізацію стратегій позиціонування), яка у подальшому стала загальною та найбільше вживаною у відповідній літературі: 1) склади у місцях збуту (позиціонування відносно ринку); 2) склади у місцях виробництва (позиціонування відносно продукції); 3) склади десь посередині (проміжне позиціонування). Саме ця система й народила основні стратегії розміщення складів: 1) стратегія розміщення складів відносно ринків збуту; 2) стратегія розміщення складів поблизу виробництва; 3) стратегія проміжного розміщення складів (стратегія розміщення складів логістичних посередників). Всі вище стратегії розміщення складів розглянуті детально у подальшому у даному дослідженні.

Автори [1, 3-5] пропонують алгоритм та методи для оцінок варіантів розміщення складів, а авторка [6] приводить їх порівняльний аналіз. Математичне моделювання даної проблеми призводить до складної, на її думку, системи нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних, яку важко розв'язати аналітично. Тому у [6] запропонований ітераційний метод розв'язку вказаної системи рівнянь. На думку авторів даної роботи, для прийняття обґрунтованого рішення відносно формування складської мережі та визначення формування складської мережі та визначення дислокації складів слід користуватись кількома (зокрема, двома) критеріями якості формування мережі складів, а також використовувати інші методи для розв'язку задач оптимізації складської мережі. Ця точка зору обґрунтована та викладена нижче у розділі, де представлені основні результати дослідження.

Мета роботи полягає у обґрунтуванні методу, який дозволяє вирішувати задачі оптимізації складської мережі, котрий, по своїй суті, чисельно-аналітичний та може бути легко реалізованим на ПЕОМ.

Виклад основного змісту дослідження.

Для реалізації задач щодо формування складської мережі у компанії створюється спеціальна група. Її очолює директор по розвитку, і краще, якщо це буде логіст. У задачі групи входить розробка вимог до складської мережі та до конкретних складів, аналіз потенційних місць для будівництва із урахуванням факторів, які впливають на вибір місць для розміщення складів:

- 1) близькість до ринків збуту чи постачання у залежності від прийнятої стратегії;
- 2) наявність конкурентів на ринку збуту;
- 3) рівень життя населення (купівельна спроможність відносно товарних позицій, які реалізує дана компанія) у потенційних районах збуту;
- 4) наявність трудових ресурсів (потенційних співробітників складського господарства);
- 5) заробітна плата (середній рівень заробітної плати складського персоналу, прийнятої у даному районі);
- 6) наявність земельних ділянок для розміщення необхідних потужностей у районах та їх вартість;
- 7) транспортні комунікації (близькість до головних чи регіональних магістралей, можливість будівництва залізничних гілок чи під'їздних шляхів і т.п.);
- 8) податки, фінансування у районі;
- 9) дозвіл економічної служби на створення складу;
- 10) придатність території для будівництва складу.

Група також повинна займатись збором інформації за наміченими напрямками: наприклад, про наявність та доступність землі у обраних районах, можливих варіантах транспортних комунікацій, надання комунальних послуг, екологічні особливості районів та ділянок забудови, специфічні особливості товарів, котрі будуть зберігатись на складі.

Створення складської мережі на основі власних складів вимагає проведення мікроаналізу із врахуванням цілої низки факторів:

- 1) якості та різновидів послуг перевізників вантажів, які обслуговують дану територію;
- 2) можливість залучення професійного складського персоналу на даному ринку;
- 3) існуючих ставок заробітної плати;
- 4) наявності, вартості, якості та конфігурації земельної ділянки під будівництво складу;
- 5) можливості наступного розширення складських потужностей;
- 6) прийнятої у районі структури податків;
- 7) вимог будівельних норм щодо проектування складів;
- 8) характеристики оточуючого середовища;
- 9) розцінок на будівництво;
- 10) витрат на комунальне обслуговування складу;
- 11) вартості капіталу на місцевому ринку;
- 12) податкових пільг, які надають місцеві органи влади.

Паралельно з робочою групою у компанії створюється окрема інженерна група для вивчення потенційних місць у відношенні щодо топографічних, геологічних особливостей ділянки забудови та проектних характеристик будівель та споруд.

Як показують дослідження, проведені у США [5], більшість американських компаній при виборі місця розташування складу використовують послідовність дій, котра може бути застосована також й при визначенні місцерозташування виробничих потужностей:

- 1) управління компанії (її керівництво) приймає рішення про необхідність пошуку місця (площі), для складу. Це рішення повинно бути засноване на реальному вивченні витрат і доходів із урахуванням додаванням нових потужностей при переміщенні існуючих потужностей у логістичній системі;
- 2) вивчається і готується базова інформація про нові, передбачені проектом, потужності, включаючи необхідну ємкість складу, характеристики продукції, яка зберігається, потребу у робочому персоналі, у інфраструктурі, включаючи транспортні потреби і т.д.;

3) група розробників-проектувальників займається вивченням питань, пов'язаних з місцеположенням і таких, що впливають на проект об'єкту (географія місцевості, топографія ділянки);

4) готується перелік основних вимог до передбаченого проектом місця розташування складу. Сюди повинні вийти як специфічні вимоги самої компанії, так і питання ринку, особливості логістичної системи, у котрій буде функціонувати склад, вимоги природоохоронного законодавства та існуюча у розглянутому місці конкуренція. Основний перелік факторів, які впливають на вибір місцеположення складу подані у таблиці 1;

5) при виборі місцеположення району забудови усі можливі варіанти розглядаються із врахуванням розробленого списку вимог, що суттєво скорочує число варіантів. Припустимі варіанти, які залишились, аналізуються більш детально;

6) відібрані у результаті вивчення дані уточнюють безпосередньо на місці. При відвідуванні передбаченого планом району забудови збирається додаткова інформація про соціальний рівень населення, існуючу культуру обслуговування, традиції, попит населення і т.д. На базі отриманої інформації обирають бажане місцеположення будівельних майданчиків;

7) альтернативний вибір здійснюється з числа рекомендованих ділянок для забудови під складське вищим керівництвом компанії.

Таблиця 1

Фактори, які впливають на вибір місцеположення складу.

Фактори, які впливають на вибір регіону	
Близькість до ринків збуту	Показники при виборі конкретного місцеположення складу
Наявність конкурентів	Наявність залізничного транспорту
Близькість до ринків постачання	Існуючі транспортні комунікації
Рівень життя населення	Відстань до об'єктів постачання і збуту
Наявність трудових ресурсів	Визначення належності району забудови (до сільської місцевості, великого міста, приміська територія, околиця і т.д.)
Заробітна плата	Вартість землі
Наявність земельної ділянки для задоволення необхідних (з міркувань потреб) потужностей та їх вартість	Водні комунікації
<ul style="list-style-type: none"> • Транспортні комунікації • Податки, фінансування • Дозвіл екологічної служби (на забудову) 	Дозвіл екологічної служби міста

Слід мати на увазі, що задача розміщення і формування складської мережі, як і будь-яка логістична задача, є оптимізаційною, оскільки, з однієї сторони, будівництво нових чи купівля діючих складів та їх експлуатація пов'язані зі значними капіталовкладеннями, а з іншої сторони, збільшення кількості складів у складській мережі повинно забезпечити (поряд з підвищенням рівня обслуговування споживачів) скорочення витрат обігу за рахунок наближення своїх клієнтів.

Процес підготовки до вибору місця розміщення складів є інтерактивним й по мірі проведення роботи стає все більш детальним. Процес у цілому може бути як у високій степені формалізованим, так і не формалізованим зовсім. Він може бути централізований на корпоративному рівні підрозділу чи функціонального напрямку, а може застосовуватись їх комбінація. Слід спеціально підкреслити, що навіть з урахуванням відмінностей, існуючих між компаніями, більшість з них, приймаючи рішення про розміщення логістичних потужностей, у цілому притримуються однієї і тієї ж послідовності дій [1].

Основні стратегії розміщення складів.

Розміщення складів у мережі розподілу справляє значний вплив на рівень транспортних витрат по складуванню та вантажообробці, а відповідно, на рівень та вартість логістичних послуг. Визначення місця розташування складів у певній територіальній зоні є однією з основних задач, які розв'язуються у процесі у процесі формування мережі розподілу у взаємозв'язку із задачею визначення оптимального числа складів у компанії. Найбільш актуальні питання розміщення складів при розвитку власної логістичної інфраструктури. При цьому перевагою самостійного вибору місця розташування складів є те, що компанія у цьому випадку не залежить від умов складів загального користування (СЗК) й не обмежена набором варіантів, котрі пропонують логістичні оператори. З іншої сторони, при недостатньому рівні компетенції можливе суттєве спотворення конфігурації мережі розподілу й виникнення певних витрат, обумовлених виключно неправильним рішенням щодо дислокації складів.

Дислокація складів у логістиці розподілу – географічне розміщення складів у відповідності зі стратегією формування складської мережі при позиціонування компанії на ринках збуту. Дислокація складів може бути визнана оптимальною у межах обраної моделі формування складської мережі за заданою критерію оптимальності із урахуванням цілей і задач компанії. Але чим більше складів у складській мережі, тим складніша задача. Як правило, такі задачі вирішуються із застосуванням сучасних програмних продуктів на основі методів оптимального програмування (лінійного, нелінійного, динамічного), методів імітаційного моделювання, операційного числення, теорії графів.

Розміщення складів незалежно від вибору моделей починається з розробки стратегії розміщення складської мережі. Визначення стратегії розміщення складів у складській мережі чи позиціонування складів на ринку збуту пов'язане з цілями та задачами компанії. Розширення складської мережі виправдане, якщо це створює для компанії конкурентні переваги, підвищуючи рівень обслуговування чи знижуючи логістичні витрати при одночасному збільшенні об'ємів продажів. Число та географічне положення складів диктуються розміщенням ринку споживачів або ринку виробників, а також особливостями товарних потоків.

Ще Едгар Гувер розробив традиційну систему розміщення складів (типізацію стратегій позиціонування) [1], котра у подальшому стала класичною: 1) склади у місцях збуту, т.з. позиціонування відносно ринку; 2) склади у місцях виробництва (позиціонування відносно продукції); 3) склади, "десь по середині", т.з. проміжне позиціонування. Саме ця система Е. Гувера й народила три основні стратегії розміщення складів.

А. Стратегія розміщення складів відносно ринків збуту.

Вона застосовується у системі розподілу як виробниками при впровадженні власної продукції, так підприємствами торгівлі при обслуговуванні кінцевих споживачів. Мета розміщення складів зводиться максимально можливого наближення їх до споживача, що забезпечує високий рівень обслуговування останніх, скорочення циклу замовлення, економію витрат щодо транспортування об'єднаних, невеликих за величиною партій замовлень навіть найдрібнішим клієнтам.

При розгалуженні складської мережі максимальне наближення, як правило, стосується філіальних складів – підсортувальних за функціональним призначенням. Рівень товарних запасів таких складів повинен забезпечувати підтримку у клієнтів поточних запасів із заданою частотою їх поповнення.

Б. Стратегія розміщення складів поблизу виробництва.

Ця стратегія може бути застосована для вибору місця розташування складів у логістиці постачання та логістиці розподілу. При організації забезпечення виробничих процесів за принципом "точно у строки", де виробник передбачає відмову від утримання на своїх складах страхових запасів, склади постачальників повинні розміщуватись поблизу виробничих потужностей виробника. У цьому випадку виробник переносить усі проблеми щодо підтримки рівня запасів на постачальника. У логістиці постачання це означає, що склади постачальників повинні розміщуватись поблизу виробничих потужностей товаровиробника. Висувані виробництвом жорсткі вимоги щодо високої надійності поставки примушують постачальника максимально наближати свої складські потужності до виробника, щоб забезпечити частоту

поставки (можливо, до кількох поставок на добу) невеликими партіями. Так організація процесу дозволяє виробнику практично відмовитись від своїх складів постачання. Виробники, котрі впроваджують систему постачання за принципом "точно у строки", як правило, закладають її відразу на етапі проектування, оскільки така система торкається не тільки виробничого процесу, але й архітектури будівлі, всієї складської системи й навантажувально-розвантажувального фронту.

Відомі випадки, коли принцип "точно у строки" впроваджувався виробниками на вже діючих підприємствах, тобто на вже існуючих виробничих потужностях. У цьому випадку на підприємстві слід провести реконструкцію та реорганізацію, котра охоплює не тільки технологію виробничих процесів, але й організацію складського господарства. Частіше за все у зв'язку з відмовою виробника від страхових запасів вимоги до постачальників та до частоти поставки стають більш жорсткими. У той же час у виробника вивільняється частина власних складських потужностей, котрі іноді передаються у оренду постачальникам. Таке рішення дозволяє постачальнику розмістити свої склади безпосередньо на території виробника (на виділених складських потужностях).

Створення складів поблизу виробника стає актуальною задачею і тоді, коли питання стоїть про консолідацію товарних потоків різних виробничих підприємств (двох і більше), які належать одній компанії. Наприклад, компанія займається виробництвом продуктів харчування, однак випуск їх розподіляє між кількома заводами: один спеціалізується на випуску соків, інший – молочних продуктів, а третій випускає різноманітні види йогуртів. Розподільчий склад у такому випадку закликаний у першу чергу перетворити виробничий асортимент, який випускає кожний конкретний товаровиробник (підприємство), у торгівельно-змішаний асортимент (об'єднуючи товари різних підприємств) у відповідності зі споживчим попитом. Розподільчий центр (консолідаційний склад) при вирішенні даної задачі бажано переважно створювати між підприємствами виробниками із урахуванням концентрації клієнтів та загальних логістичних витрат.

В. Стратегія проміжного розміщення складів. Стратегія розміщення складів логістичних посередників.

Ця стратегія характерна для розміщення складської мережі оптових компаній. Останні вже за своїми функціональним призначенням є посередником між виробниками та кінцевими споживачами, відповідно, створюючи свої склади, вони намагаються обрати проміжне місце розташування між постачальником і клієнтами. Однак якщо розглядати складську мережу у цілому, то цей принцип торкається переважно розміщення центрального складу. Склади регіональні та філіальні розміщують ближче до ринку споживання.

Класична систематизація стратегій розміщення складів була запропонована на початку ХХ ст., коли ще не існував ринок логістичних посередників. Для компаній, працюючих у цій ніші бізнесу, жодна із розглянутих стратегій не може бути застосована напряму. Для логістичних посередників головним правилом при розміщенні складів є наближення до ринку потенційних клієнтів будь-якої сфери бізнесу (виробництва, торгівлі, сфери послуг, включаючи готелі та ресторани, і навіть сфери шоу-бізнесу). Ось чому створюючи склади, провайдери логістичних послуг обирають для їх розміщення найбільш великі регіональні центри, де зосереджені основні бізнес-структури, де висока щільність населення та значний споживчий/купівельний попит – у першу чергу це столичні центри й міста з мільйонним населенням.

Визначення місцеположення (дислокації) складів у певній територіальній зоні є однією з основних задач, які розглядаються процесі синтезу складської системи. Її вирішують разом із задачею побудови самої мереж розподілу. Як правило, при цьому використовують комп'ютерні технології і застосовують методи оптимального програмування (лінійного, нелінійного, динамічного), методи імітаційного моделювання, операційне числення, теорію графів і т.п.

Географічне розміщення складів у складській мережі справляє суттєвий вплив на рівень витрат щодо транспортування (на склад й зі складу), на капітальні та експлуатаційні складські витрати, а значить, у кінцевому рахунку, - на рівень та вартість логістичних послуг, які пропонують покупцям. Обираючи регіон для розміщення складів і конкретно для кожного складського господарства, враховують всі логістичні витрати. Пов'язані з поставкою продукції, а також:

1) витрати на будівництво й експлуатацію складів, включаючи витрати на будівництво будівлі/споруди та закупівлю обладнання, а також пов'язані з подальшою експлуатацією (вартість утримання та ремонту будівлі та обладнання, електроенергії, заробітну плату і т.д.);

2) витрати на транспорт, які складаються з первісних капіталовкладень у розвиток транспортної мережі (будівництво і реконструкцію під'їзних доріг, купівля рухомого складу, будівництво гаражів, об'єктів ремонтного господарства і т.д.) й експлуатаційних витрат (пов'язаних з поставками вантажів, утримання і ремонт транспортних засобів, пристроїв і т.д.);

При визначенні числа й оптимальної дислокації складів компаніям, особливо підприємствам оптової торгівлі та мережевого роздрібу, зазвичай потрібний великий об'єм вихідної інформації [5] стосовно:

1) всієї продукції та асортиментних наборів, які зберігаються й обробляються на складі;

- 2) дислокації основної маси покупців, точок зберігання, джерел поповнення товарних запасів складу (чи постачальників торгівельної фірми);
- 3) попиту на кожну одиницю продукції (асортимент) від певної територіальної групи споживачів;
- 4) транспортних тарифів (витрат);
- 5) тривалості у часі доставки, транзиту, циклу замовлення, логістичного циклу;
- 6) витрат чи тарифів на складування;
- 7) витрат на закупівлю товарних партій;
- 8) розмірів вантажних відправлень за кожною позицією номенклатури продукції та змішаних відправлень;
- 9) рівень запасів, які зберігаються, по місцях дислокації складів, способів контролю й поповнення запасів;
- 10) витрат, пов'язаних з процедурами замовлень;
- 11) рівня споживчого логістичного сервісу;
- 12) потрібних інвестицій у будівництво (реконструкцію, оренду) складу;
- 13) можливого складського технологічного обладнання та обмеження щодо розмірів, потужності, ват;
- 14) можливих партнерів по розподілу й розділенню складських функцій між ними і т.д.

Визначення місця, де розташований склад, (дислокація) у певній мірі територіальній зоні є однією з основних задач, вирішують у процесі синтезу складської системи. Вона повинна розв'язуватись разом із задачею побудови самої мережі розподілу.

При дуже великій кількості споживачів, що значно збільшує багатоваріантність розміщення складської мережі, і у залежності від різних факторів впливу використовують методи лінійного програмування, комбінаторний метод, методи динамічного програмування, імітаційного моделювання, операційного числення, теорії графів та інші методи.

Математичне моделювання процесу оптимізації розміщення складу у територіальній зоні.

У загальному випадку критерій оптимізації розміщення складу у територіальній зоні має вид:

$$Z_o(Q_i, j) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n z_{ij} \cdot Q_{ij} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

де: $z_0(Q_{i,j})$ – цільова функція, яка представляє собою сумарні витрати по варіанту розміщення складів та прикріплених до них клієнтів; m – число клієнтів; n – кількість пунктів можливого розміщення складів; i – порядковий номер клієнта; j – номер пункту розміщення складу; z_{ij} – сумарні питомі витрати на доставку замовлення i -му клієнту з j -го складу (включаючи витрати на поставку та складську вантажопереробку); Q_{ij} – величина річної поставки i -му клієнту з j -го місця розташування складу, т/рік.

Сума усіх поставок з j -го складу клієнтам повинна бути рівною річному вантажопотоку, що проходить через нього:

$$\sum_{i=1}^m Q_{ij} = Q_j, \quad Q_{ij} \geq 0; \quad i = \overline{(1,m)}; \quad j = \overline{(1,n)}. \quad (2)$$

Ця задача розв'язується за будь-яким відомим алгоритмом транспортної задачі лінійного програмування.

Припустимо, що у розглянутій територіальній зоні (регіоні, районі, місті) відомі основні споживачі (покупці), їх місцезрештування, об'єми попиту у цілому та за номенклатурними групами, характеристика транспортної мережі та маршрути доставки.

Необхідно знайти варіант оптимального розміщення складів, який забезпечує мінімум сумарних логістичних витрат.

Критерій оптимізації має вид:

$$F(X_{nk}) = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \alpha_{kn} \cdot X_{nk} + \sum_{n=1}^N b_n \cdot \delta(X_n) \Rightarrow \min, \quad (3)$$

де: X_{nk} – величина річної поставки k -му споживачу з n -го складу; α_{kn} – питомі змінні транспортно-складські витрати щодо доставки товарів від торгової фірми k -му споживачу через n -й склад; b_n – умовно-постійні логістичні витрати n -го складу, які не залежать від об'єму продажів; X_n – річний об'єм реалізації товарів з n -го складу, $n = \overline{(1,N)}$;

$$\delta(X_n) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } X_n > 0, \\ 0, & \text{якщо } X_n = 0. \end{cases} \quad (4)$$

При цьому повинні виконуватись наступні обмеження:

1) задоволення потреб споживачів у складських поставках з усіх складів:

$$\sum_{n=1}^N X_{nk} = P_k, \quad k = \overline{(1, K)}, \quad (5)$$

де: P_k – річна потреба (попит) k -го споживача;

2) сум поставок споживачам зі складу повинна дорівнювати його об'єму товарообігу:

$$\sum_{k=1}^K X_{nk} = X_n, \quad n = \overline{(1, N)}. \quad (6)$$

3) невід'ємність змінних:

$$X_{nk} \geq 0; \quad n = \overline{(1, N)}; \quad k = \overline{(1, K)}. \quad (7)$$

Для знаходження оптимального плану дислокації складів із використанням сформульованої постановки застосовується алгоритм комбінаторного пошуку послідовних оцінок варіантів [1].

Оптимальна дислокація складів різного рівня може бути знайдена за допомогою наступного ітераційного алгоритму.

Сформулюємо вихідні дані наступним чином. Існує m споживачів у деякій територіальній зоні, які задані координатами (a_i, b_i) ; $i = \overline{(1, m)}$. Кожний споживач характеризується об'ємом попиту на продукт A_i , $i = \overline{(1, m)}$. Треба визначити координати складу (x, y) так, щоб сума відстаней від даних m точок із урахуванням попиту A_i до точки (x, y) була мінімальною. Таким чином, на площині XOY необхідно знайти точку (x, y) оптимальної дислокації складу таку, що:

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^m A_i \cdot \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \Rightarrow \min. \quad (8)$$

Нижче поданий опис алгоритму знаходження мінімуму цільової функції $P(x, y)$ зводиться до наступного. Знайдемо частинні похідні від $P(x, y)$:

$$\begin{cases} \partial P(x, y) / \partial x = \sum_{i=1}^m A_i \cdot (x - a_i) / \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}; \\ \partial P(x, y) / \partial y = \sum_{i=1}^m A_i \cdot (y - b_i) / \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}. \end{cases} \quad (9)$$

З математичного аналізу відомо, що для знаходження шуканої точки (x, y) необхідно частинні похідні прирівняти до нуля та розв'язати систему рівнянь виду:

$$\begin{cases} \partial P(x, y) / \partial x = 0; \\ \partial P(x, y) / \partial y = 0. \end{cases} \quad (10)$$

є нелінійною, тоді реально її можна розв'язати чисельним методом на ПЕОМ. Альтернативою такого підходу ітераційний метод розв'язку.

Перше наближення визначається за формулою:

$$x^{(1)} = \sum_{i=1}^m A_i \cdot a_i / m; \text{ Або } y^{(1)} = \sum_{i=1}^m A_i \cdot b_i / m. \quad (11)$$

Підставляючи знайдене значення $x^{(1)}$ у рівняння для частинної похідної по y , матимемо наближення $y^{(1)}$. Підставляємо $y^{(1)}$, знайдене таким чином, у рівняння для частинної похідної по x і знаходимо $x^{(2)}$ і так далі до тих пір, поки не задовольняється наступна нерівність:

$$\left| P(x^{(k)}, y^{(k)}) - P(x^{(k+1)}, y^{(k+1)}) \right| \leq \varepsilon, \quad (12)$$

де: k – номер ітерації, а ε – деяке мале додатне число, задане наперед, (задана степінь точності), наприклад, $\varepsilon = 10^{-2}$.

Функція $P(x, y)$ опукла знизу і має єдиний екстремум, що у свою чергу, дозволяє отримати єдиний оптимальний розв'язок згідно наведеному вище алгоритму.

Можна показати, що наближений розв'язок поставленої задачі досягається із використанням формул:

$$\begin{cases} x \cong \sum_{i=1}^m (A_i \cdot a_i) / (m \cdot \bar{A}); \\ y \cong \sum_{i=1}^m (A_i \cdot b_i) / (m \cdot \bar{A}), \end{cases} \quad (13)$$

де: \bar{A} – середній попит, який визначається з виразу:

$$\bar{A} = (\max A_i + \min A_i) / 2. \quad (14)$$

Зрозуміло, що при $A_i = \text{const}$, розв'язок, який отриманий за допомогою наближених формул (13), співпадає з оптимальним.

Наближене значення буде тим ближче до оптимального, чим меншою є різниця $\max A_i$ та $\min A_i$, тобто, чим швидше прямує до нуля різниця:

$$(\max A_i - \min A_i) \rightarrow 0. \quad (15)$$

Застосування комбінаторних методів при виборі місць дислокації складів дозволяє врахувати нерівномірний характер залежностей витрат на будівництво складів та транспортних витрат щодо доставки вантажів клієнтам. Одним з таких методів є метод послідовних оцінок варіантів [3-5]. Метод динамічного програмування застосовується у тих випадках, коли здійснюється поетапне інвестування у будівництво складів.

Розв'язок для кожного етапу повинен у підсумку оптимізувати загальний результат усього періоду.

Висновки.

1. При прийнятті обґрунтованого рішення відносно формування складської мережі та визначення дислокації складів слід керуватись двома основними критеріями: а) мінімальними сукупними витратами, пов'язаними з експлуатацією складської мережі, із урахування витрат на будівництво; б) максимальним рівнем обслуговування споживачів.

2. У випадку відповідності цим двом, вище вказаним у п. 1 критеріям, можна починати розробку проекту складського господарства. Раціональне розміщення складського господарства суттєво впливає на загальні величини вантажопотоків і сприяє вирішенню проблеми скорочення транспортних та складських витрат.

3. Крім перерахованих методів, для вирішення задач оптимізації складської мережі використовується також метод імітаційного моделювання, операційне числення, теорія графів й ціла низка інших методів ті моделей.

4. Результати, отримані у даному дослідженні, можуть бути у подальшому використані для удосконалення і уточнення існуючих економіко-математичних методів та моделей розв'язку задач щодо розміщення складів, зокрема, моделей мінімізації загальних витрат (модель Вон Тунена (Von Thunen), модель Вебера (Weber), модель Гувера (Hoover), модель Грінхата (Greenhat), комп'ютеризованих моделей розміщення (планарні моделі, моделі складування, мережеві моделі, моделі дискретного або змішано-цілочисельного програмування), моделі без обмеження на місцеположення об'єктів (всі моделі визначення географічних координат об'єктів, а саме: метод центру тяжіння, позиціонування на площині, метод відстаней від вихідної точки (постачальник) до точки проміжного базування на трасі маршруту заданої протяжності), моделі вибору із множини заданих точок розміщення (моделі вибору проміжних

пунктів із обмеженої кількості пропозицій на транспортній мережі, модель вибору місця розміщення точки базування (збуту) на основі експертного оцінювання комплексу ключових показників ефективності можливих варіантів (метод відношення переваг).

5. Стануть у нагоді результати, отримані у даному дослідженні, й для вдосконалення сучасних моделей комерційного тяжіння (схема та модель Рейлі, метод балансу витрат, узагальнена модель комерційного тяжіння Рейлі, модель позиціонування кількох проміжних складів, модель вибору місць дислокації складів із закріпленням споживачів та постачальників, модель багатокритеріальної оптимізації та методи вибору найкращого рішення при врахуванні багатьох критеріїв, модель вибору дислокації великої кількості складів та визначення їх форм власності (стратегії складування складських запасів).

Список літератури.

1. Алексин Р.В. Исследование взаимодействия элементов в транспортно-складском комплексе. Автореферат канд. дис. ... техн. наук. - Ленинград: ЛНИЖТ, 1984. – 20 с.
2. Hoover Edgar M. The Location of Economic Activity. – New York: McGraw Hill Book Company, 1938. – 400 с.
3. Сергеев В.И. Менеджмент –логистике в бизнес. – М.: Информационно-издательский дом “Филинь”, 1997. – 772 с.
4. Coyle I.I., Bardi E.I., Langley C.I.I. The Management of Business Logistics, 5 th ed. – St. Paul, MN: West Publishing Co., 1992.
5. Baumgarten H. Allein schafft es kann noch liner; in: Deutsche Verkehrs-Zeitung (DVZ); Sonderbeilage Logistik zum 18. Deutschen Logistik-Kongress; 55. Jahrgand; Nr 124; 16.10.2001; S. 14-15.
6. Дыбская В.В. Логистика складирования: учебник/ В.В. Дыбская. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 796 с.
7. Савин В.А. Склады. Справочное пособие. – М.: Дело и Сервис, 2001.
8. Саркисян С.А., Каспин В.И., Лисичкин В.А., Минаев Э.С., Пасечник Г.С. Теория прогнозирования и принятия решений. – М.: Высшая школа, 1977. - 351 с.
9. Харольд Е. Фирон, Майкл Р. Линдерс. Управление снабжением и запасами. Логистика. – СПб.; ООО «Издательство Полигон», 1999. – 768 с.
10. Soracino W.C. 3PLs narrow the gap; in Logistics Management & Distribution Report 03/01/2001; Cahners Business Information; www.manufacturing.net; 2002.

11. Човнюк Ю.В., Чередніченко П.П., Гасанова С.Ф., Міщенко О.Д. Розробка оптимальної системи логістики складування спортивних товарів, туристичного та альпіністського спорядження. Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". Серія: "Економічні науки". - 2023. - №7(75). – С. 90-112. <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2023-7-9057>.

PhD, Associate Professor **Chovnyuk Yurii**,
PhD of Engineering Sciences **Oleksii Pryimachenko**,
Postgraduate Student **Igor Zvarych**,
Postgraduate Student **Oleg Zvarych**,
Master of the Public Administration **Cherednichenko Oleksandra**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

MODELLING THE OPTIMAL DISLOCATION OF WAREHOUSES WHEN PLACING THEM IN A CITY WAREHOUSE NETWORK

It is shown that decisions on the location of warehouses are made from the perspective of both microeconomics and macroeconomics of the company, as well as depending on the tasks that the company solves. It is shown that the problem of choosing the location of warehouses becomes relevant under certain specific urban planning circumstances. The main factors influencing the choice of warehouse location are indicated. The main strategies for warehouse location are considered: a) the strategy of locating warehouses relative to sales markets; b) the strategy of locating warehouses near production facilities; c) the strategy of intermediate warehouse location (the strategy of locating warehouses of logistics intermediaries); d) the strategy of locating warehouses in a network of cities, which takes into account their geographical location. When determining the number and optimal location of company warehouses, the latter requires a large amount of source information, the content and parameters of which are highlighted in the work. The criterion for optimizing the location of a warehouse in a specific territorial area of a city and the algorithm for its implementation are given. It is indicated that when making an informed decision on the formation of a warehouse network and determining its location, two basic principles should be followed: 1) minimum total costs associated with the operation of the warehouse network, taking into account construction costs; 2) maximum level of customer service. If these criteria are met, you can start developing a warehouse management project. It is noted that the rational location of warehouse facilities significantly affects the total volume of cargo flows and contributes to solving the problem of reducing transport and storage costs.

Keywords: modelling; optimization; warehouse location; warehouse networks; location strategies; warehouse location optimization criteria; territorial zones.

REFERENCES

1. Aleksyn R.V. Yssledovanye vzaymodeistviya elementov v transportno-skladskom komplekse. Avtoreferat kand. dys. ... tekhn. nauk. - Leningrad: LNYZhT, 1984. – 20 s. {in Russian}
2. Goover Edgar M. The Location of Economic Activity. – New York: McGraw Hill Book Company, 1938. – 400 c. {in English}
3. Serheev V.Y. Menedzhment –lohystyke v byznes. – M.: Ynformatsyonno-yzdatelskyi dom “Fylynъ”, 1997. – 772 s. {in Russian}
4. Soyle I.I., Bardi E.I., Langley C.I.I. The Management of Business Logistics, 5 th ed. – St. Paul, MN: West Publishing Co., 1992. {in English}
5. Baumgarten H. Allein schafft es kaum noch liner; in: Deutsche Verkehrs-Zeitung (DVZ); Sonderbeilage Logistik zum 18. Deutschen Logistik-Kongress; 55. Jahrgang; Nr 124; 16.10.2001; S. 14-15. {in German}
6. Дыбська V.V. Lohystyka skladyrovaniya: uchebnyk/ V.V. Дыбська. – Moskva, Volohda: Ynfra-Ynzheneryia, 2021. – 796 s. {in Russian}
7. Savyn V.A. Sklady. Spravochnoe posobyе. – M.: Delo y Servys, 2001. {in Russian}
8. Sarkysian S.A., Kaspyn V.Y., Lysyckyn V.A., Mynaev Э.S., Pasechnyk H.S. Teoryia prohnozyrovaniya y pryniatiya reshenyi. – M.: Vysshaya shkola, 1977. - 351 s. {in Russian}
9. Kharold E. Fyron, Maikl R. Lynders. Upravlenye snabzhenyem y zapasamy. Lohystyka. – SPb.; ООО «Yzdatelstvo Polyhon», 1999. -768 s. {in Russian}
10. Copacino W.C. 3PLs narrow the gap; in Logistics Management & Distribution Report 03/01/2001; Cahners Business Information; www.manufacturing.net; 2002. {in English}
11. Chovniuk Yu.V., Cherednichenko P.P., Hasanova S.F., Mishchenko O.D. Rozrobka optymальноi systemy lohystyky skladuvannia sportyvnykh tovariv, turystychnoho ta alpinistskoho sporiadzhennia. Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal "Internauka". Seriya: "Ekonomichni nauky". - 2023. - №7(75). – S. 90-112. <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2023-7-9057>. {in Ukrainian}