

СЕКЦІЯ 10 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 519.8

Горбачук В.М.

*кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України*

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ І ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ КОРПОРАТИВНОЇ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ПЕРЕВАГИ

Основний результат полягає у тому, що досягнення корпоративної порівняльної переваги потребує моделювання інтересів багатьох учасників ринку й невизначеності. Підхід моделювання поведінки інших учасників ринку є новим для підприємств, сформованих за централізації. Вказані застосування запропонованих підходів для фірм Procter & Gamble, Wal-Mart, Digital Equipment Corporation, Hunt-Wesson та інших.

Ключові слова: дослідження операцій, ланцюги постачання, порівняльна перевага, управління, система дистрибуції.

Горбачук В.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ И ЦЕПЕЙ СНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ КОРПОРАТИВНОГО СРАВНИТЕЛЬНОГО ПРЕИМУЩЕСТВА

Основной результат состоит в том, что достижение корпоративного сравнительного преимущества требует моделирования интересов многих участников рынка и неопределенности. Подход моделирования поведения других участников рынка является новым для предприятий, сформированных при централизации. Указаны применения предложенных подходов для Procter & Gamble, Wal-Mart, Digital Equipment Corporation, Hunt-Wesson и других.

Ключевые слова: исследование операций, цепи снабжения, сравнительное преимущество, управление, система дистрибуции.

Gorbachuk V.M. OPERATIONS AND SUPPLY CHAIN RESEARCH FOR ACHIEVEMENT OF CORPORATE COMPARATIVE ADVANTAGE

The main result is that achievement of comparative advantage needs modeling of interests by many market participants and that of uncertainty. The modeling approach for behavior of other market participants is a new one for enterprises formed under centralization. The applications of approaches suggested are specified for the firms Procter & Gamble, Wal-Mart, Digital Equipment Corporation, Hunt-Wesson and others.

Keywords: operations research, supply chains, comparative advantage, management, distribution system.

Постановка проблеми полягає у вивченні сучасних організаційно-управлінських шляхів збереження і досягнення порівняльних переваг при конкуренції. Ланцюг постачання (далі – ЛП) – зв’язана послідовність діяльностей, що стосуються планування, координування і керування матеріалів, частин і готових продуктів від постачальника до користувача [58]. ЛП стосується двох різних потоків (матеріального та інформаційного) через організацію. Менеджмент ЛП (далі – МЛП) – це координація та інтеграція зазначених діяльностей з метою досягнення стійкої порівняльної переваги. Отже, МЛП охоплює широке коло стратегічних, фінансових і операційних питань.

Аналіз літератури з вартості інформації у ЛП, застосувань чисельного моделювання у МЛП, переговорів і контрактів ЛП, зокрема контрактів у моделях виробничих і транспортних систем, міститься в оглядах [8; 51; 59].

Не вирішена раніше частина проблеми – пояснити організаційно-управлінські шляхи досягнення порівняльної переваги корпорації, необхідної для існування корпорації в умовах глобалізації і швидких технологічних змін. Такі шляхи спираються на методи дослідження операцій і управління ланцюгами постачання. Якщо дослідження операцій, породжене військовими застосуваннями, передбачає одну цільову функцію й одну особу, яка приймає рішення,

то в ланцюгах постачання може існувати багато таких осіб, кожна з яких має свої цілі. Проводиться систематичний аналіз моделей стратегічного проектування, планування систем дистрибуції, моделей маршрутизації розташувань, моделей управління виробництва і логістики корпорації.

Мета даної роботи – доповнити відому вітчизняну літературу з дослідження операцій (далі – ДО) питаннями сучасного МЛП. З появою МЛП як нової дисципліни ставала помітною роль моделей ДО для ефективного МЛП. Починаючи з 1985 р., робота, проектування й аналіз ЛП діставали все більшої уваги. Оптимізація роботи всього ЛП є однією з найбільш міждисциплінарних стратегічних проблем, з якими сьогодні стикаються менеджери. Виділяють 23 різні види моделей ДО для логістичних діяльностей у МЛП [55]. Методи ДО та науки управління є суттєвими для перепланування логістичних процесів [1]. Зазначені моделі треба ефективно координувати для прийняттого моделювання багатоетапного ЛП.

Основні результати зосереджуються на стратегічних і операційних питаннях управління та проектування ЛП. Обмежимося застосуванням методів моделювання ДО для загального проектування ЛП, планування координації операцій і систем управління в межах даної ЛП. Огляди [8; 51; 59] можна доповнити еволюцією моделей для комбінованих рішень

маршрутизації розташувань і запасів. Відповідну літературу можна розбити на такі категорії: моделі стратегічного проектування ЛП; моделі координації та управління виробництвом і логістикою; моделі імітації ЛП.

Стратегічне проектування ЛП вимагає від менеджерів визначати: яких постачальників і продавців обирати для постачання сировини; число, розташування, потужність виробничих заводів і товарних складів; конкретні транспортні канали і способи для матеріального руху між підприємствами; обсяги сировини і кінцевої продукції, механізми контролю для потоків між постачальниками, заводами, складами, користувачами; стратегії для управління запасами сировинними матеріалами, проміжними і кінцевими продуктами у кожному з різних розташувань.

Операційні рішення в ЛП часто обмежені рішеннями, прийнятими на фазі стратегічного проектування, включають короткострокові розподіли зв'язків і логістичні потоки між розташуваннями, стратегії виробничого планування й управління запасами у кожному розташуванні. Ці рішення включають обсяги і часові розклади матеріальних потоків від постачальників до заводів, від заводів і складів до роздрібних торговців і користувачів. На докладнішому рівні плановики операцій виробництва й логістики мають створювати детальні графіки впорядкування виробництва і надання продукту.

На стратегічному проектуванні ЛП видно еволюцію моделей ДО. Ці моделі присвячені таким важливим довгостроковим стратегічним факторам, як розташування підприємств і прикріплення продуктів та/або користувачів до цих підприємств. Кожна модель намагається визначити такий проект ЛП, що забезпечує поєднання показників послуги і вартості, найкраще із загальносистемної точки зору. Іншими словами, у таких моделях центральний плановик визначає найкращу загальносистемну конфігурацію. Крім того, ці моделі можуть враховувати рішення розташування і транспортування.

Для першої всебічної моделі проектування ЛП продуктів харчування Хант-Вессон (Hunt-Wesson) було розроблено послідовний алгоритм, заснований на декомпозиції Бендерса (Benders), де розв'язується задача проектування системи багатопродуктового виробництва і дистрибуції [30]. Ця система містить кілька заводів (з відомими і заданими потужностями), центри дистрибуції з межами на пропускну здатність, зони роздрібною торгівлі (кожна з яких може замовити центр дистрибуції). Зазначена модель знаходить оптимальну конфігурацію центрів дистрибуції, враховуючи фіксовані й змінні витрати для діючих складів, а також докладний склад витрат на виробництво і транспортування.

Для міжнародної моделі розташування заводів розроблено модель нелінійного програмування великої вимірності [38]. Цільова функція бере до уваги різницю між сподіваною цінністю прибутку та мінливістю прибутку, масштабованою на множник ухилення від ризику. Модель враховує обмеження на потужності заводів, ринковий попит, межі фінансових інвестицій. Побудова моделі включає вплив ринкових цін, міжнародні відсоткові ставки, флуктуації обмінного курсу, витрати на виробництво і транспортування, імпортні тарифи, податки на експорт.

Розроблена одноперіодна багатотоварна модель нелінійного програмування для глобальної політики розгортання ресурсів [19]. Зв'язуючи множиною різних стохастичних підмоделей, ця модель започаткувала повністю інтегрований ЛП. Максимізується цільова

функція загального післяподаткового прибутку для виробничих підприємств і центрів дистрибуції в усіх країнах. Підмоделі об'єднують межі на виробничі потужності заводів, обмеження на матеріальні потреби заводів, балансові обмеження запасів на заводах і центрах дистрибуції, межі на спроможність попиту і пропозиції, вимоги на офсетну торгівлю (відшкодування торгівлі). Модель вирішує, як прив'язувати продукти і підкомплекти (subassemblies) до заводів, продавців – до центрів дистрибуції, центри дистрибуції – до регіонів ринку. Модель визначає, які обсяги компонентів, комплектуючих, кінцевих продуктів виробляти на кожному заводі, а також як перевозити цю продукцію заводів серед продавців, виробничих підприємств, центрів дистрибуції.

Моделю [30] була узагальнена на багатотоварне проектування системи дистрибуції з рішення про маршрутизацію транспортних засобів і розмір їхнього парку [9]. Робота [9] поєднала підхід [30] декомпозиції Бендерса з підходом маршрутизації транспортних засобів [28]. Головна задача в алгоритмі [9] визначає число й розташування складів. Підзадачі дають найкращу множиною маршрутів транспортних засобів (зокрема, число й розміри транспортних засобів, які використовуються розташуванням) за даної конфігурації складів, вказаної у головній задачі.

Виходячи з роботи [19], була створена детерміністська модель для проектування мережі дистрибуції великої вимірності [20]. Ця модель також поєднує вимоги до офсетної торгівлі й оцінки прибутків до і після податків. Модель [20] дає всебічну постановку задачі проектування глобального ЛП, але не докладну процедуру визначення оптимальної конфігурації.

Сформульована змішана цілочисельна багатотоварна модель, яка визначає призначення виробничих ліній та обсягів до заводів [21]. Для кожного заводу визначаються потоки матеріальної сировини, що прибуває, і потоки кінцевих продуктів, що відбувають. Дослідження [21] дає алгоритм обмеженої оптимізації для розв'язання задач з кусково-лінійними увігнутими виробничими витратами. Цільова функція складається з фіксованих і змінних витрат виробництва і транспортування. Ця модель включає обмеження вимог пропозиції, потужності, призначення, попиту, сировини. Метод декомпозиції Бендерса застосовується для розв'язання кожного окремого випадку задачі.

Була представлена нормативна модель для глобальних промислових операцій, які спрямовують рішення щодо розташування і потужності заводів, а також сумішей продуктів, потоків матеріалів, обсягів потоків коштів [18]. Модель складають підмоделі – мережна модель стохастичного ЛП, модель фінансових потоків, модель ціни і попиту, модель стохастичного обмінного курсу. Підмоделі зв'язують багатоперіодну стохастичну головну задачу з множиною одноперіодних стохастичних підзадач [18].

Щоб перепроектувати ЛП Digital Equipment Corporation (DEC), була представлена одна з найвсебічніших моделей проектування ЛП [3]. Розроблено багатоперіодну, змішану модель цілочисельного програмування (Global Supply Chain Model, GSCM), щоб оптимізувати конфігурацію глобального ЛП DEC. Модель узгоджує численні підприємства, етапи (ступені), періоди часу, способи транспортування. GSCM мінімізує складну функцію днів роботи і загальної вартості виробництва, запасів, матеріального забезпечення, накладних витрат, транспорту [31]. Обмеження втілюють вимоги на задоволення попиту користувачів, межі на виробництво і пропускну

здатність кожного підприємства, границі на зміні рішень. GSCM кодує глобальний рахунок матеріалів (bill-of-materials, BOM) для кожного продукту і втілює обмеження балансу запасів для кожного продукту і розташування. GSCM відбиває офсетну торгівлю й обмеження місцевої місткості (content), а також митні платежі та відшкодування для потоків через різні країни. Ця модель відповідає на питання про число і розташування центрів дистрибуції, призначення користувачів до центрів дистрибуції, призначення заводів до інших заводів. Фірма DEC застосовувала GSCM для оцінювання альтернатив глобального ЛП і розробки світових стратегій виробництва і дистрибуції [3]. Застосування GSCM фірмою DEC для своєї світової реструктуризації заощадило фірмі понад 100 млн дол.

Для мережі дистрибуції фірми Procter & Gamble була розроблена модель цілочисельного програмування, використовуючи постановку розташування підприємств неповної потужності [12]. Модель мінімізує загальні витрати на відбір розташування центрів дистрибуції та їхнього призначення до споживачів при обмеженнях на призначення і кількість задіяних центрів дистрибуції.

Для проектування трирівневої мережі дистрибуції запропонована змішана модель цілочисельного програмування [49]. Ця модель визначає фізичні потоки товарів від заводів до складів, а також від складів до споживчих зон. Метод пропонує розташування заводів і складів, що веде до мінімальних загальних операційних і фіксованих витрат для мережі дистрибуції. Розроблена евристика, заснована на релаксації функції Лагранжа, що призначає споживачів до відкритих складів, виходячи з попиту на продукти, а потім призначає відкриті склади до відкритих заводів [49].

Були розроблені підходи для проектування динамічної системи дистрибуції, в якій споживчий попит змінюється на скінченному горизонті планування [29; 52; 53]. Ці підходи розглядають множини заводів повної потужності з пов'язаними складами (неповної потужності), які мають розподіляти продукти для множини споживачів у кожний період. Кожний підхід потребує призначення кожного споживача до єдиного стоку (складу), а тому застосовує евристику для узагальнених постановок задачі. Показано асимптотичну оптимальність конкретних ненаситних (greedy) евристичних процедур для випадків циклічного попиту (повторюваних зразків попиту) та ациклічного попиту [52; 53]. Модель [29] застосовує алгоритм гілок і цін для задачі з єдиним стоком при сезонному попиті.

Для трирівневої системи дистрибуції розглянута задача проектування транспортування, запасів, маршрутів й розроблений алгоритм її розв'язання [13]. Система складається з єдиного продавця, багатьох суміжних (cross-docking) складів, багатьох роздрібних торговців з постійними рівнями попиту. На відміну від задач маршрутизації запасів робота [13] розвиває розуміння щодо стратегії проектування системи дистрибуції. Автори роботи [13] доводять, що запропонована ними система близько відповідає системі дистрибуції Wal-Mart, яка наприкінці минулого тисячоліття була надзвичайно успішною. Алгоритм [13] призначає кожного торговця до складу, використовуючи схему контейнерної упаковки (bin-packing), і розділяє призначених роздрібних торговців на кластери, використовуючи алгоритм розташування повної концентрації. Потім роздрібні кластери об'єднують у групи, які мають однаковий інтервал

повторного замовлення. Модель мінімізує асимптотичні довгострокові середні витрати транспортування і зберігання запасів. Показано, що в оптимальному розв'язку кожний склад змушений отримувати від продавця повністю завантажені платформи, але не тримати запаси. Тому склад слугує лише координатором частоти, часу і розміру поставок роздрібним торговцям, тобто засобом суміжного перевантаження.

Так звані моделі маршрутизації розташувань дістали великої уваги, починаючи з 1970-х років [7; 45]. Хоча традиційні моделі розташування підприємств розглядають лише вартість призначення споживачів або ринків до підприємств [22], досліджувалася також вартість в інтегрованій моделі розташування, яка явно враховує докладні рішення маршрутизації транспортних засобів [32].

Робота [60] була однією з перших, де застосовується інтегрована точка зору. В цій роботі генеруються випадкові розташування сховищ і розглядається вплив використання прямолінійних відстаней в якості замінника для маршрутних відстаней у детерміністській постановці з обмеженнями на місткість транспортних засобів. Ця робота доходить висновку, що використання прямолінійних відстаней може вести до значної втрати точності. За відсутності обмеження на місткість транспортних засобів для задачі маршрутизації розташувань розроблено точний підхід цілочисельного програмування з одним сховищем (depot) [41] і кількома сховищами [42]. Щоб розв'язувати набір випадково генерованих задач, застосовується алгоритм гілок і границь, а також порушення обмеження на частині маршруту. Згодом використовувалися складні евристичні підходи для розв'язання на практиці дворівневої задачі проектування системи дистрибуції газет [39].

Для розв'язання задачі маршрутизації розташувань з кількома сховищами, які мають пропускні здатності і вартості, запропоновано евристичні підходи [47; 48]. У них спочатку відкривають усі сховища і для кожного розв'язують задачу маршрутизації. Потім, використовуючи фіксовані витрати і місткості, визначають, які сховища тримати відкритими, й евристично переміщують споживачів до відкритих підприємств.

Цей аналіз узагальнюється на розташування сховища, що збирає товари від споживачів і повертає їх у сховище [40]. Обсяги постачання товарів від споживачів – випадкові змінні, а транспортний засіб має повернутися до сховища, коли воно повністю заповнюється. Ця задача моделюється як двокрокова задача стохастичного програмування з рекурсією.

Розглядається вплив факторів довкілля і експлуатації на розв'язки задач маршрутизації розташувань [57]. Ці фактори включають споживчий просторовий розподіл і відношення вартості розташування до вартості маршрутизації. Застосовуються кілька комбінацій відомих евристик маршрутизації і розташування для визначення ефектів конкретних факторів на результати евристики. Існують інші евристики і кейси для маршрутизації розташувань [5; 36; 44; 46; 56].

Для більш короткострокових і докладних операційних рішень МЛП необхідні моделі керування виробництвом і логістикою, щоб визначати розклади й обсяги потоків між підприємствами. До цих питань зверталися протягом багатьох років у контексті однопериодних моделей. Зосередимося на моделях, які розглядають впливи таких рішень на численні утворення в ЛП. Ці утворення можуть належати і не належати одній і тій самій фірмі, а тому можуть мати однакові чи конфліктуючі цілі. Є багато публікацій

в області багатоступеневого управління запасами [35; 51; 54]. Ці публікації спрямовані на розробку моделей витрат у багатостадійних системах запасів за різних припущень про вартості, операції, попит. Мінімізуються загальні витрати, пов'язані з виробництвом і запасами. За винятком роботи [17] моделі розглядають витрати запасів у поєднанні з витратами, пов'язаними з дистрибуцією й логістикою.

У роботі [17] вперше розглядалася операційна взаємодія між двома окремими членами ЛП. У ній розроблена модель менеджменту запасами з періодичним переглядом для послідовної системи дистрибуції. Використовуючи просту систему, що складається з єдиного центру дистрибуції та єдиного роздрібного торговця, показана оптимальність модифікованих стратегій базового запасу для управління запасами роздрібного торговця. Модифіковані стратегії базового запасу передбачають фіксований рівень базового запасу, до якого роздрібний торговець намагається доводити запас на початку кожного періоду. Якщо роздрібний торговець не може досягти свого цільового рівня базового запасу (в силу недостатніх запасів у центрі дистрибуції), то прагне якнайближче дійти до цього рівня за рахунок вичерпування запасів у центрі дистрибуції.

У спробі поєднати витрати на транспорт і запаси та стохастичний попит вивчалася одноперіодна задача, в якій центральний склад має розміщати свої запаси серед численних роздрібних торговців [27]. У цій моделі мінімізуються сподівані витрати зберігання і нестачі плюс витрати на маршрутизацію транспортних засобів. Кожний набір транспортних засобів має фіксовану спроможність і має витрати c_{ij} для поїздки між розташуваннями i та j . Модель визначає маршрути транспортних засобів і розміщення запасів серед розташувань роздрібних торговців, що мінімізують об'єднані витрати на запаси і маршрутизацію.

Відома модель системи, розробленої для раціоналізації мережі дистрибуції, – Delco Electronics Division компанії General Motors [11]. Ця модель перевіряє взаємообміни (trade-offs) між витратами на запаси і транспорт, а також визначає, які заводи мають постачати продукцію до різноманітних складальних підприємств у Північній Америці. Ключовим рішенням було порівняти поточну практику прямолінійних поставок до єдиного централізованого складу і стратегію поставок дрібних партій безпосередньо до складальних заводів. Модель рекомендувала нову стратегію поставок дрібних партій для компонентів Delco і дала можливість заощадження 26,9% на логістиці.

Відома двокрокова система, де переробний завод постачає продукцію до складального заводу абсолютно вчасними (just-in-time, JIT) партіями з великого обсягу деталей [62]. Роздрібний торговець спостерігає стохастичний періодичний попит на єдиний продукт. Дозволяються надзвичайні поставки деталей при недостатній спроможності транспортних засобів. Визначаються найвищий рівень замовлення (рівень базового запасу) деталей, час між послідовними поставками деталей, число контрактованих транспортних засобів для поставок між переробним і складальним заводами. Мінімізується сума сподіваних витрат на запаси складального заводу, контрактованих витрат на поставки, витрат на надзвичайні поставки. Розвиваючи роботу [62], включалися сподівані витрати на запаси переробника (складу) плюс витрати на одиницю поставки (а не лише витрати поставки на вантажівку) [25].

Є докладніший виклад взаємообміну між витратами на запаси і транспорт [2], де система складається з центрального складу та численних географічно розсіяних роздрібних торговців. Увесь запас входить у систему через склад, а кожний роздрібний торговець спостерігає детерміністський попит постійного рівня. Модель мінімізує витрати на запаси у роздрібних торговців (склад не тримає запасів) плюс витрати на дистрибуцію всіх поставок роздрібного торговця за маршрутами, що обслуговуються набором транспортних засобів з фіксованими спроможностями. Розроблено границі як для оптимального розв'язку, так і для класу запропонованої евристики. Показано асимптотичну оптимальність цієї евристики (у межах класу стратегій, які розділяють роздрібних торговців на регіони так, що даний транспортний засіб відвідує всіх роздрібних торговців регіону). Є інші алгоритми й узагальнення моделі маршрутизації і запасів [16; 23; 24; 61].

Для єдиного підприємства з багатьма користувачами вивчалася задача координування обсягів виробництва з рішеннями маршрутизації транспортних засобів [15]. Випадок окремих рішень оптимізації виробництва і маршрутизації транспортних засобів порівнювався з координованим підходом, що намагається мінімізувати загальні об'єднані витрати виробництва і маршрутизації. Виявилось, що цінність координування цих рішень зростає при вищій потужності виробництва, довших часових горизонтах, нижчих витратах зберігання й запуску (тобто при більш гнучкій і менш обмеженій ситуації планування виробництва).

Розглядалася задача визначення оптимальної структури політики поповнення запасів і спроможності вантажівок, коли центр дистрибуції накладає змінні витрати на кожен замовлену одиницю з R одиниць понад цю спроможність [37]. Показано, що оптимальна політика періодичного замовлення при таких витратах складається з двох базових рівнів запасів S_2 та $S_1 \leq S_2$. Структура політики вимагає, щоб при початковому стані запасів перед замовленням (заявкою) нижче S_2 або замовляти обсяг до S_1 , або замовляти обсяг R , або замовляти обсяг до S_2 , або замовляти 0 одиниць. Для даної структури витрат запропоновано метод визначення найкращого рівня спроможності вантажівки.

Через те, що виробники стали більше покладатися на третіх перевізників з місткістю менше вантажівки (less-than-truckload, LTL), розглядалася багатоперіодна модель дистрибуції з поставками LTL [14]. Модель припускає, що множини користувачів спостерігає періодичний детерміністський попит на численні продукти протягом скінченного горизонту планування. Мережа дистрибуції містить як поставальників, так і склади, допускаючи відкладений споживчий попит. Формулюється задача мережного потоку з мінімальною увігнутою вартістю з фіксованою платою на еквівалентній мережі дистрибуції, де вартість включає витрати поставок LTL плюс витрати зберігання і нестачі. Вивчаються властивості оптимальних розв'язків та умови, при яких (оптимальне) значення задачі лінійного програмування за релаксації (за кусково-лінійних увігнутих витрат) рівне значенню задачі змішаного цілочисельного програмування. Пропонується евристичний алгоритм розв'язання задачі, заснований на ефективній характеристиці вартості модифікації дробової цілочисельної змінної, знайденої при розв'язанні задачі лінійного програмування при релаксації. Цей алгоритм працює успішно порівняно з попереднім підходом [6] до розв'язання задачі.

Матеріальні потоки і визначення запасів у ЛП потребують ефективного менеджменту. Розроблена стохастична модель менеджменту матеріальних потоками у ЛП струйних принтерів фірми Hewlett-Packard [43]. Припускається, що кожна ділянка спостерігає стохастичний попит і застосовує періодичну систему максимального поповнення запасів, а встановлене значення запасу (для кожної ділянки) визначається на цілому рівні обслуговування чи рівні базового запасу. Модель характеризує процес передачі попиту (за яким ділянка передає свій попит на замовлення своїм постачальникам) і процес трансферу наявності, який описує наявність товарів у розташуванні постачальника. Визначаються період перегляду й обсяг замовлення для кожного типу продукту і розташування, а також взаємообміни між інвестиціями в запаси й рівнями обслуговування у багатокроковому ЛП.

Розроблена стохастична модель для менеджменту матеріальними потоками в інтегрованій трирівневій системі виробництва й дистрибуції [50]. Система містить численні продукти, єдине переробне підприємство, один склад, єдиного роздрібного торговця. Останній обіцяє своїм споживачам мінімальний рівень обслуговування, а модель мінімізує загальні витрати при постійних моментах запуску і роботи підприємства. Хоча час транспортування від підприємства до роздрібного торговця є постійним, для останнього існує можливість отримувати прискорену поставку, якщо резерв кінцевих продуктів на підприємстві не може задовольнити попит роздрібного торговця. Для вираження сподіваних загальних витрат системи модель припускає стохастичні моменти виробництва і моменти випередження між виробленням кінцевих товарів на підприємстві та їхнім надходженням у резерви, використовує наближення для ключових часових розподілів запасів та обслуговування. Моделюються економічні інтервали повторного замовлення і розмір партії поповнення для кожного типу продукту.

Розглядалася багатостадійна система виробництва послідовного типу, що містить один кінцевий продукт, правила FIFO (First In, First Out) у роботі, проміжні буфери, попит за розподілом Пуассона [4]. На кожному кроці дотримуються політики (R, r) для запасів (коли стан запасів спадає нижче r , то замовляють обсяг R) і затриманих замовлень, коли запаси недостатні для задоволення попиту. Розробляється ітеративна процедура, яка окремо розглядає кожну двовузлову систему як функцію параметрів стратегії. Процедура закінчується тоді, коли середні значення пропускної здатності всіх підсистем стають приблизно однаковими. Наслідки моделі включають рівень запасу у кожному буфері та ймовірність P затриманого замовлення. Показано, що при $P \leq 0.3$ така процедура апроксимації дає прийнятні результати.

Для багатостадійного ЛП розглядалося визначення (розташування) безпечного запасу [34]. ЛП уявляють як мережу і припускають, що на кожній стадії дотримуються стратегії базового запасу (стадія уявляє таку функцію обробки, як постачання сировини, виробництво компонентів, складання, перевірка тощо). Попит має місце лише у вузлах, які не мають наступників, а кожна стадія забезпечує гарантований час обслуговування для задоволення течійного (downstream) попиту. Модель мінімізує загальносистемні витрати на запаси, дотримуючись гарантованих періодів обслуговування (які вважаються змінними рішення). Модель обґрунтовують успішним втіленням ЛП для цифрових камер Eastman Kodak [34].

Для багатостадійних систем виробництва досліджувалося планування вимог [33]. Спочатку вивчалася одностадійна модель, що виробляє один (агрегований) продукт для запасу в резерв кінцевих товарів. Припускається, що на кожній стадії прогноують попит на H періодів вперед і цей прогноз переглядають на наступній стадії. Ці прогнози ведуть план виробництва, який теж планують на H періодів вперед, а план переглядають кожного періоду. Вимірюються три суттєві параметри: гладкість плану виробництва, стійкість плану виробництва, рівень безпечного запасу (гладкість плану виробництва відрізняється від стійкості тим, що гладкість характеризує мінливість фактичного випуску виробництва, а стійкість – мінливість розкладу виробництва). Робота [33] охоплює взаємообмін між вимогами до потужностей виробництва і запасів. Показано, як поширювати одностадійну модель на багатостадійну модель планування динамічних вимог шляхом відтворення одностадійних моделей. Застосування цієї моделі до вироблення фотоплівки на Kodak привело до зменшення вимог запасів на 60% для двох компонентів, збільшивши запас одного компонента на 20% з істотною нетто-економією за діловими звітами.

Ряд робіт у новому тисячолітті було присвячено якісному та кількісному вивченню явища поквалплення (bullwhip) у ЛП – тенденції до більшої мінливості попиту на протитечійних (upstream) стадіях ланцюга. Ця мінливість попиту накладає тягар на постачальників через необхідність мати вимоги більшого безпечного запасу й надлишкової місткості транспортних засобів.

Висновок у тому, що перспективними є моделі, які поєднують рішення про запаси і транспортування. Базуючись на загальних моделях маршрутизації транспортних засобів і розташувань [10; 26], можна перейти до координації матеріальних потоків і розміщення запасів у ЛП, а потім – до явища, відомого як ефект поквалплення, що описує більшу спостережувану мінливість попиту на протитечійних стадіях ЛП, а також до розробки моделей, спрямованих на пом'якшення такого ефекту. Застосування підходу ЛП дозволяє корпорації знижувати ризики, пов'язані з суміжниками та споживачами. ЛП є стандартним предметом для підготовки інженерних і керівних кадрів у провідних державах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Горбачук В. М. Методи індустріальної організації. Кейси та вправи. Економіка та організація виробництва. Економічна кібернетика. Економіка підприємства. – К.: А.С.К., 2010. – 224 с.
2. Anily S., Federgruen A. One warehouse multiple retailer systems with vehicle routing costs // *Management science*. – 1990. – 36(1). – P. 92-114.
3. Arntzen B. C., Brown G. G., Harrison T. P., Trafton L. L. Global supply chain management at Digital Equipment Corporation // *Interfaces*. – 1995. – 25(1). – P. 69-93.
4. Altiok T., Ranjan R. Multi-stage, pull-type production/inventory systems // *IIE transactions*. – 1995. – 27. – P. 190-200.
5. Aykin T. The hub location and routing problem // *European journal of operations research*. – 1995. – 83. – P. 200-219.
6. Balakrishnan A., Graves S. A composite algorithm for a concave-cost network flow problem // *Networks*. – 1989. – 19. – P. 175-202.
7. Balakrishnan A., Ward J. E., Wong R. T. Integrated facility location and vehicle routing models: recent work and future prospects // *American journal of mathematical and management sciences*. – 1987. – 7. – P. 35-61.
8. Beamon B. M. Supply chain design and analysis: models and methods // *International journal of production economics*. – 1998. – 55. – P. 281-294.

9. Bookbinder J. H., Reece K. E. Vehicle routing considerations in distribution system design // *European journal of operations research*. – 1988. – 37(2). – P. 204-213.
10. Bramel J., Simchi-Levi D. *The logic of logistics: theory, algorithms and application for logistics management*. – Berlin : Springer, 1997.
11. Burns L. B., Hall R. W., Blumenfeld D. E., Daganzo C. F. Distribution strategies that minimize transportation and inventory costs // *Operations research*. – 1987. – 33(3). – P. 469-490.
12. Camm J. D., Chorman T. E., Dull F. A., Evans J. R., Sweeney D. J., Wegryn G. W. Blending OR/MS judgment and GIS: restructuring P&G's supply chain // *Interfaces*. – 1997. – 27(1). – P. 128-142.
13. Chan L. M. A., Simchi-Levi D. Probabilistic analyses and algorithms for three-level distribution systems // *Management science*. – 1998. – 44(11). – P. 1562-1576.
14. Chan L. M. A., Muriel A., Simchi-Levi D. *Supply-chain management: integrating inventory and transportation* // Working paper. Department of Industrial Engineering and Management Science. Northwestern University. – 1999.
15. Chandra P., Fisher M. L. Coordination of production and distribution planning // *European journal of operations research*. – 1994. – 72. – P. 503-517.
16. Chien T. W., Balakrishnan A., Wong R. T. An integrated inventory allocation and vehicle routing problem // *Transportation science*. – 1989. – 32(2). – P. 67-76.
17. Clark A. J., Scarf H. Optimal policies for a multi-echelon inventory problem // *Management science*. – 1960. – 6. – P. 475-490.
18. Cohen M. A., Kleindorfer P. R. *Creating value through operations / The legacy of Elwood S. Buffa*. – Dordrecht : Kluwer, 1993. – P. 3-21.
19. Cohen M. A., Lee H. L. Strategic analysis of integrated production-distribution systems: models and methods // *Operations research*. – 1988. – 36(2). – P. 216-228.
20. Cohen M. A., Lee H. L. Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks // *Journal of manufacturing and operations management*. – 1989. – 2. – P. 81-104.
21. Cohen M. A., Moon S. An integrated plant loading model with economies of scale and scope // *European journal of operations research*. – 1991. – 50. – P. 226-279.
22. Cornuejols G., Nemhauser G. L., Wolsey L. A. *The uncapacitated facility location problem / Discrete location theory*. P. B. Mirchandani, R. L. Francis (eds.). – New York : Wiley, 1990.
23. Dror M., Levy L. A vehicle routing improvement algorithm comparison of a "greedy" and amatching implementation for inventory routing // *Computers and operations research*. – 1986. – 13(1). – P. 33-45.
24. Dror M., Trudeau P. Stochastic vehicle routing with modified savings algorithm // *European journal of operations research*. – 1986. – 23. – P. 228-235.
25. Ernst R., Pyke D. Optimal base stock policies and truck capacity in a two echelon system // *Naval research logistics*. – 1993. – 40. – P. 879-903.
26. Federgruen A., Simchi-Levi D. Analysis of vehicle routing and inventory-routing problems / *Handbook operations research and management science: network routing*. Vol. 8. M. O. Ball, T. L. Magnanti, C. L. Monma, G. L. Nemhauser (eds.). – Amsterdam : Elsevier, 1995. – P. 297-373.
27. Federgruen A., Zipkin P. A combined vehicle routing and inventory allocation problem // *Operations research*. – 1984. – 32(5). – P. 1019-1037.
28. Fisher M. L., Jaikumar R. A generalized assignment heuristic for vehicle routing // *Networks*. – 1981. – 11. – P. 109-124.
29. Freling R., Romeijn H. E., Romero Morales D., Wagelmans A. P. M. A branch and price algorithm for the multi-period single-sourcing problem // Working Paper. Department of Industrial and Systems Engineering, University of Florida. – 1999. – 99-12.
30. Geoffrion A. M., Graves G. W. Multicommodity distribution system design by Benders decomposition // *Management science*. – 1974. – 20 (5). – P. 822-844.
31. Geunes J., Chang B. M. Operations research models for supply chain management and design / *Encyclopedia of optimization*. 2-nd edition. P. M. Pardalos, C. A. Floudas (eds.). – Springer, 2009. – P. 2704-2715.
32. Gorbachuk V. On the transportation subproblem of Euro-2012 / *Network science*. – Kyiv : V. M. Glushkov Institute of Cybernetics; Texas A&M University; University of Florida, 2010. – P. 6-7.
33. Graves S. C., Kletter D. B., Hetzel W. B. A dynamic model for requirements planning with application to supply chain optimization // *Operations research*. – 1998. – 46(S). – P. S35-S49.
34. Graves S. C., Willems S. Optimizing strategic safety stock placement in supply chains // Working paper. Sloan School of Management. MIT. – 1998.
35. *Handbook operations research and management science: logistics of production and inventory*. Vol 4. S. C. Graves, A. H. G. Rinnooy Kan, P. H. Zipkin (eds.). – Amsterdam : Elsevier, 1993.
36. Hansen P. H., Hegedahl B., Hjortkjaer S., Obel B. A heuristic solution to the warehouse location-routing problem // *European journal of operations research*. – 1994. – 76. – P. 111-127.
37. Henig M., Gerchak Y., Ernst R., Pyke D. F. An inventory model embedded in designing a supply contract // *Management science*. – 1997. – 43(2). – P. 184-189.
38. Hodder J. E., Dincer M. C. A multifactor model for international plant location and financing under uncertainty // *Computers and operations research*. – 1986. – 13(5). – P. 601-609.
39. Jacobsen S. K., Madsen O. B. G. A comparative study of heuristics for a two-level location-routing problem // *European journal of operations research*. – 1980. – 5. – P. 378-387.
40. Laporte G., Louveaux F., Mercure H. Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems // *Ibid.* – 1989. – 39. – P. 71-78.
41. Laporte G., Nohet Y. An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location // *Ibid.* – 1981. – 6. – P. 224-226.
42. Laporte G., Nohet Y., Pelletier P. Hamiltonian location problems // *Ibid.* – 1983. – 12. – P. 80-87.
43. Lee H. L., Billington C. Material management in decentralized supply chains // *Operations research*. – 1993. – 41(5). – P. 835-847.
44. Min H. Consolidation terminal location-allocation and consolidated routing problems // *Journal of business logistics*. – 1993. – 17(2). – P. 235-263.
45. Min H., Jayaraman V., Srivastava R. Combined location-routing problems: a synthesis and future research directions // *European journal of operations research*. – 1998. – 108. – P. 1-15.
46. Nambiar J. M., Gelders L. F., Van Wassenhove L. N. Plant location and vehicle routing in the Malaysian rubber smallholder sector: a case study // *Ibid.* – 1989. – 38. – P. 14-26.
47. Perl J., Daskin M. S. A warehouse location-routing methodology // *Journal of business logistics*. – 1984. – 5. – P. 92-111.
48. Perl J., Daskin M. S. A warehouse location-routing problem // *Transportation research*. Part B. – 1985. – 19B. – P. 381-396.
49. Pirkul H., Jayaraman V. A multi-commodity, multiplant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution // *Computers and operations research*. – 1998. – 25(10). – P. 869-878.
50. Pyke D. F., Cohen M. A. Multi-product integrated production-distribution systems // *European journal of operations research*. – 1994. – 74(1). – P. 18-49.
51. *Quantitative models for supply chain management*. S. Tayur, R. Ganeshan, M. Magazine (eds.). – Dordrecht : Kluwer, 1998.
52. Romeijn H. E., Romero Morales D. An asymptotically optimal greedy heuristic for the multi-period singlesourcing problem: the cyclic case // Working Paper. Department of Industrial and Systems Engineering, University of Florida. – 1999. – 99-11.
53. Romeijn H. E., Romero Morales D. Asymptotic analysis of a greedy heuristic for the multi-period single-sourcing problem: the acyclic case // *Ibid.* – 1999. – 99-13.
54. Schwarz L. B. *Multi-level production/inventory control systems: theory and practice*. – Amsterdam : North-Holland, 1981.
55. Slats P. A., Bhola B., Evers J. M., Dijkhuizen G. Logistic chain modeling // *European journal of operations research*. – 1995. – 87. – P. 1-20.
56. Srivastava R. Alternate solution procedures for the location routing problem // *OMEGA*. International journal of management science. – 1993. – 21(4). – P. 497-506.
57. Srivastava R., Benton W. C. The location-routing problem: considerations in physical distribution system design // *Computers and operations research*. – 1990. – 17(5). – P. 427-435.
58. Stevens G. C. Integrating the supply chain // *International journal of physical distribution and materials management*. – 1989. – 19. – P. 3-8.
59. Vidal C. J., Goetschalck M. Strategic production-distribution models: a critical review with emphasis on global supply chain models // *European journal of operations research*. – 1997. – 98. – P. 1-18.
60. Webb I. R. Cost functions in the location of depots for multi-delivery journeys // *Operations research quarterly*. – 1968. – 19. – P. 311-328.
61. Webb I. R., Larson R. C. Period and phase of customer replenishment: a new approach to the strategic inventory/routing problem // *European journal of operations research*. – 1995. – 85. – P. 132-148.
62. Yano C. A., Gerchak Y. Transportation contracts and safety stocks for just-in-time deliveries // *Journal of manufacturing and operations management*. – 1989. – 2. – P. 314-330.