

# ТЕОРІЯ ЛОГІСТИКИ І МАРКЕТИНГУ

УДК 339

М. Васелевський

Суспільна вища школа підприємництва і управління, м. Лодзь, Республіка Польща

## ЗАСТОСУВАННЯ КАЛЬКУЛЯЦІЙНИХ ТАБЛИЦЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ЛОГІСТИЧНИХ РІШЕНЬ

© Василевський М., 2004

**Розглянуто можливість застосування калькуляційної таблиці в оптимізаційному моделюванні і симуляції для підтримки логістичних рішень.**

**The possibility of usage calculation table in optimization modeling and simulation for logistical decision making are presented in the article.**

**Постановка проблеми.** Розвиток інформатичних систем і скорочення часу більшості процесів управління спричиняють зростання зацікавлення комп'ютерними системами підтримки рішень, які дозволяють здійснювати швидкий аналіз великої кількості інформації і прискорюють прийняття рішення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У логістиці також дочекались цікавих міркувань на тему застосування математичних методів у підтримці рішень, прикладом чого є зокрема публікації С. Кравчика [1]. Кількісні методи у зв'язку з розширенням діапазону даних, що обробляються, зростанням складності реляцій між елементами, а також обмеженим часом реакції, дозволяють уникати суб'єктивного погляду на рішення, що приймаються. Прості оцінки, які спираються на інтуїції того, хто управляє, найчастіше обтяжені помилками, а їх масштаб залежить від масштабу рішень, що приймаються, та складності проблеми, яку вирішують. Математичний опис є, отже, підставою застосування комп'ютерної підтримки прийняття рішень і його можна застосувати при будівництві складних спеціалізованих програм і моделей прийняття рішення за допомогою калькуляційних таблиць, які – подібно як текстові редактори – є інструментом праці в бюро, службах і підприємствах.

Прийняття рішення можна прискорити як за допомогою калькуляційних таблиць, так і спеціалізованих програм, переваги і недоліки яких проявляються зазвичай у застосуваннях. Без сумніву калькуляційні таблиці не замінять спеціалізованих програм оптимізації розбудованих проблем прийняття рішень. Однак їх переваги здебільшого є вирішальними для вибору інструментів, які підтримують рішення. Перевагами калькуляційних таблиць є легкість, швидкість і низька витрата будівництва моделей прийняття рішення, велика кількість попередньо запрограмованих функцій, "приятний" графічний модуль і інтеграція з програмним забезпеченням бюро. Недоліками є передовсім обмеження, які стосуються будівництва відносно простих моделей з невеликими розмірами. Калькуляційні таблиці вимагають значної пам'яті комп'ютера, через що на повільніших комп'ютерах можуть діяти відносно повільно. Слід також підкреслити, що використовуючи калькуляційну таблицю, важко у деяких випадках ідентифікувати і коригувати помилки.

Однією з найпопулярніших калькуляційних таблиць є комп'ютерний пакет Excel фірми Microsoft, який разом із модулем solver уможливує вирішення багатьох професійних проблем прийняття рішень, починаючи від будівництва і оптимізації лінійних і нелінійних моделей, до менш відомих можливостей його застосування в симуляційних експериментах.

**Формулювання цілей статті.** Ствердження переваги застосування Excel як інструмента, який підтримує логістичні рішення, особливо в лінійних моделях і комп'ютерній симуляції.

**Виклад основного матеріалу.** Розглядаємо переваги застосування лінійної оптимізації та оптимізація в Excel: прикладом тут є застосування Excel для вирішення класичної транспортної задачі, яка полягає у побудові і оптимізації моделі з метою мінімізації витрат транспортування симуляції за допомогою таблиці Excel.

1. Лінійна однорідного блага з  $m$  джерел постачання до  $n$  місць призначення.

Керівник має прийняти рішення, яке стосується способу транспортування борошна, який мінімізував би повну витрату транспортування, маючи на увазі заспокоєння потреби, заявленої окремими пекарнями (рис. 1, комірки M5:M8) та виробничі можливості млинів (E11, H11, K11), а також знаючи одиничні витрати транспортування на окремих трасах (C5:C8, H5:H8, K5:K8).

MINIMALIZACJA KOSZTÓW DOSTAW									
	Młyn 1	Koszt	Młyn 2	Koszt	Młyn 3	Koszt	Ograniczenia	Zapotrzebowanie	
5	Piekarnia 1	0	50,0 PLN	0	40,0 PLN	0	60,0 PLN	Not >=	40
6	Piekarnia 2	0	40,0 PLN	0	80,0 PLN	0	40,0 PLN	Not >=	60
7	Piekarnia 3	0	50,0 PLN	0	70,0 PLN	0	70,0 PLN	Not >=	50
8	Piekarnia 4	0	20,0 PLN	0	30,0 PLN	0	80,0 PLN	Not >=	50
10	Dostawa	Produkcja	Dostawa	Produkcja	Dostawa	Produkcja			
11		70 <=	70	0 <=	50	0 <=	80		
12	<b>Koszt</b>								
13	<b>dostawy</b>	<b>0</b>		<b>0</b>		<b>0</b>	<b>Koszt całkowity</b>		<b>0</b>

Рис. 1. Таблиця “Мінімізація витрат поставок” перед оптимізацією

Йдеться про збалансоване транспортне завдання, оскільки глобальний попит дорівнює глобальній пропозиції. Подана процедура створення моделі може також бути застосована для відкритих транспортних завдань (при нерівності глобального попиту і глобальної пропозиції).

У статті не наведено математичного визначення функцій мети і граничних умов, оскільки вони є загальновідомими, а лише наведена їх імплементація у формулах Excel. Процедура вирішення транспортного завдання за допомогою стандартного модуля solver докладно описана у [2, с.111–113]. У вирішенні був використаний модуль solver „What’s Best!” фірми Lindo Systems Inc, який надає більші можливості таблиці Excel порівняно зі стандартним модулем моделювання систем лінійної і нелінійної оптимізації.

Першим кроком є встановлення за допомогою функцій, які знаходяться в solver, змінних, якими у цій моделі є величини, які транспортуються з окремих млинів до окремих пекарень (C5:C8, F5:F8, I5:I8). Потім слід визначити функцію цілі, якою є мінімізація повної витрати (M13). Повна витрата є сумою витрат транспортування, які припадають на кожний млин (C13, F13, I13). Кожна з цих витрат є сумою добутків витрат транспортування на окремих трасах і транспортованої величини:

$$C13 = \text{СУМА ПЕРЕМНОЖЕНЬ (C5:C8; E5:E8)},$$

$$F13 = \text{СУМА ПЕРЕМНОЖЕНЬ (F5:F8; H5:H8)},$$

$$I13 = \text{СУМА ПЕРЕМНОЖЕНЬ (I5:I8; K5:K8)}.$$

Останньою процедурою перед вирішенням завдання є визначення обмежень. Вони стосуються величини потреби, заявленої окремими пекарнями, а також виробничих можливостей млинів, які не можна збільшити. Обмеження, записані в комірках L5:L8, інформують, що сума

поставок до кожної пекарні мусить бути більша або дорівнювати заявленій потребі. Обмеження, які запобігають перевищенню виробничих можливостей, у вирішенні містяться в комірках D11, G11, J11. Ці обмеження вказують, що величини повних поставок з цього млина мусять бути меншими або дорівнювати його виробничим можливостям.

Після визначення змінних, функції цілі і обмежень можна розпочати вирішення завдання. Ефекти оптимізації показані на рис. 2.

При припущенні реалізації транспортного плану, описаного значенням змінних, що містяться у наведеній таблиці, сумарні витрати на транспортування становитимуть 8000 злотих. Проведення ідентичного експерименту згідно з методикою, наведеною у [2], за допомогою стандартного модуля solver спричиняє гірший результат оптимізації (у цьому випадку сумарні витрати становлять 8100 злотих). Ця різниця є результатом застосування у стандартному модулі Solver процедури алгоритму сімплекс, тоді як в модулі solver „What’s Best!” застосована процедура дуосімплекс, яка у цьому випадку дає кращі ефекти оптимізації.

MINIMALIZACJA KOSZTÓW DOSTAW									
	Młyn 1	Koszt	Młyn 2	Koszt	Młyn 3	Koszt	Ograniczenia	Zapotrzebowanie	
Piekarnia 1	0	50,0 PLN	40	40,0 PLN	0	60,0 PLN	>=	40	
Piekarnia 2	0	40,0 PLN	0	80,0 PLN	60	40,0 PLN	>=	60	
Piekarnia 3	30	50,0 PLN	0	70,0 PLN	20	70,0 PLN	>=	50	
Piekarnia 4	40	20,0 PLN	10	30,0 PLN	0	80,0 PLN	>=	50	
	Dostawa	Produkcja	Dostawa	Produkcja	Dostawa	Produkcja			
	70	>= 70	50	>= 50	80	>= 80			
<b>Koszt</b>									
<b>dostawy</b>	<b>2300</b>		<b>1900</b>		<b>3800</b>	<b>Koszt całkowity</b>		<b>8000</b>	

Рис. 2. Таблиця “Мінімізація витрат поставок” після оптимізації

Показане вирішення може підлягати докладному аналізу вразливості, за допомогою якого керівник може визначити, який вплив на функцію цілі (сумарні витрати) будуть мати можливі зміни транспортного плану щодо оптимального рішення. Наприклад, в оптимальному рішенні не передбачені поставки між пекарнею А і млином 1. Щоб дізнатися, як зросте повна витрата у випадку поставки між цими двома пунктами, достатньо вибрати в модулі solver „What’s Best!” команду „dual” (дуальної функції) і визначити, в якій вільній комірці має з’явитися дуальне значення для комірки С5. Потім слід повторно здійснити оптимізацію. Тоді отримуємо, що дуальне значення для комірки С5 становить 20, що означає, що поставка однієї одиниці між цими пунктами спричинить зростання повної витрати на 20 злотих. Подібні дослідження вразливості оптимального рішення можна здійснити щодо інших змінних.

У такий спосіб можна моделювати інші логістичні проблеми: планування засобів, локалізації закладів постачання [3, с. 479–488], переміщення у мережах, встановлення цін, стернування запасами, аналіз часових рядів тощо. Треба підкреслити, що усі оптимізаційні завдання, які вирішують за допомогою Excel, мають подібні етапи реалізації. Це є:

- визначення змінних,
- визначення цілі,

- встановлення обмежень,
- оптимізація – вирішення проблеми.

2.Симуляція за допомогою таблиці Excel: аналізуючи логістичні проблеми і шукаючи підтримки для рішень, що приймаються, не завжди є достатнім спиратися на оптимізаційних можливостях калькуляційної таблиці. Якщо взаємозв'язки між елементами систем є мало складними, то щоб отримати відповідь на запитання, які нас цікавлять, можемо прийняти рішення про використання аналітичних методів, наприклад, алгебри, теорії ймовірності або лінійного програмування. На жаль, частина систем, що трапляються, є занадто складною, щоб застосовувати названі моделі. У цьому випадку базу, яка підтримує прийняття рішення, можуть бути аналізи моделей, які проводять при застосуванні симуляції.

Симуляція визначається як наслідування динамічних процесів, які виступають у певній системі, при застосуванні експерименту з метою отримання інформації, які можуть бути перенесені до реальних систем. Симуляція також подається як форма експерименту при використанні комп'ютерної моделі, яка дає відповідь на запитання: “Як буде вести себе аналізована система в певній ситуації?”. Маючи на увазі ці визначення, можна вказати, що головною метою симуляції є будівництво моделі системи або процесу, впровадження змін і нарешті оцінка функціонування досліджуваної системи під кутом її поведінки у змінних умовах.

Відомі комп'ютерні інструменти, які можна застосовувати у імітаційних дослідженнях, ділять на чотири групи, зокрема [4]:

- калькуляційні таблиці,
- інструменти для швидкої імітації,
- імітатори,
- імітаційні мови.

Кожна група характеризується відмінним часом конструкції моделі, способом контролю моделі, складністю проблем, можливих для вивчення, докладністю результатів, часом ознайомлення з інструментом, а також діапазоном застосування.

Excel є імітаційним інструментом, який широко застосовують у банківській справі при аналізах майбутніх прибутків або інвестицій. Його застосування є цінним передовсім через швидкий аналіз проблем і можливості подання результатів у формі графіків або таблиць. Слід зазначити, що застосування таблиць Excel для симуляційних експериментів у логістиці не є загальним, хоча з практичного погляду є можливим при закладенні того, що модель, яка будується, буде докладно перекладена на математичну мову [1].

Наведений нижче приклад ілюструє комп'ютерну імітацію при використанні таблиці Excel для визначення впливу менеджерських рішень при встановленні величини замовлення і цінової стратегії в умовах непевності прогнозів попиту.

Основною процедурою під час симуляції є генерування випадкових чисел, відповідних до розподілу змінної, оцінювана величина якої є підставою оцінки окремих параметрів. Якщо, наприклад, у підприємстві X оцінюємо попит на йогурти в першому тижні продажу, який характеризується нормальним розподілом з середньою 6000 штук і стандартним відхиленням 2000 штук, необхідним є генерування прикладів величини попиту з цього розподілу. Для виконання цього завдання можна використати одну з кількох функцій, доступних в пакеті Excel. Найпростішою є функція LOS ( ), яка в результаті подає випадкове число з рівномірним розподілом і значенням більшим за 0 і меншим за 1 [5]. Це означає, що існує 10% ймовірності, що функція LOS ( ) вкаже значення між 0 і 0,1; 50% ймовірності, що генерує значення між 0,5 і 1, і 90% – що отримаємо значення з проміжку від 0 до 0,9. Застосування функції LOS ( ) для генерування випадкових чисел не є обмеженим лише поданим статистичним розподілом.

Функція ROZKŁAD.NORMALNY.ODW(LOS ( );  $\mu$ ;  $\sigma$ ) повертає випадкові числа з нормального розподілу з середнім  $\mu$  і стандартним відхиленням  $\sigma$ .

Функція `ROZKŁAD.NORMALNY.S.ODW(LOS ( ))` генерує випадкові числа з кумульованого стандартного нормального розподілу. Цей розподіл має середнє, яке дорівнює 0, і стандартне відхилення, яке дорівнює 1.

На жаль, обидві наведені функції можуть генерувати також від'ємні значення, що може стати причиною проблем у генеруванні попиту. Одним з рішень при генеруванні попиту є використання функції максимуму з проміжку від 0 до `ROZKŁAD.NORMALNY.ODW(LOS ( ); μ;σ)`. Слід зазначити, що це буде правильним за припущення, що коефіцієнт варіанції є меншим, ніж 0,4. Для вищих коефіцієнтів варіанції кращим рішенням є застосування генерування випадкових чисел на підставі логарифмічного нормального розподілу, оскільки отримувані значення завжди будуть додатними. Функція `ROZKŁAD.LOG.ODW(LOS ( );μ; σ)` генерує значення  $x$ , що відповідає логарифмічному нормальному розподілу, коли  $\ln(x)$  характеризується нормальним розподілом з середнім  $\mu$  і стандартним відхиленням  $\sigma$ . Наведені приклади не є єдиними функціями Excel, які можна використати для генерування попиту.

У проведеному симуляційному експерименті для генерування попиту і будівництва моделі була використана функція `ROZKŁAD.NORMALNY. ODW(LOS ( ); μ; σ)`, оскільки вона є адекватною до вхідних даних.

Щоб відповідно сконструювати симуляційну модель і зрозуміти його сутність, слід правильно оцінити ситуацію досліджуваного підприємства. Підприємство  $X$  має роздрібну мережу, яка займається торгівлею харчовими продуктами. З метою спрощення моделі розглядаються усереднені дані для одного магазину і одного товару, однак висновки, які виникають з процесу створення експерименту симуляції, можуть бути розширені на цілу мережу, а будівництво відповідних моделей може охопити інші товари, які були предметом торгівлі. Підприємство  $X$  купує йогурти (які характеризуються 18-денним періодом придатності до споживання) за ціною 1,5 злотих у тижневих циклах. Калькульовано, що ціна продукту повинна становити 2,3 злотих у першому тижні продажу. Як вже вказувалось, також передбачається, що попит буде мати нормальний розподіл з середньою  $\mu = 6000$  штук і стандартним відхиленням  $\sigma = 2000$  штук. Під кінець першого тижня ціна на йогурти, що перебувають у продажу, повинна бути знижена з причини поставки нової партії свіжого товару. Знижена ціна буде, звичайно, чинником, який детермінує попит на йогурти у другому тижні продажу. Передбачається, що знижена ціна створить попит з середньою  $\mu=2000-500 \cdot p$  штук і стандартним відхиленням  $\sigma = (2000-500 \cdot p)/3$  штук, де  $p$  – ціною після знижки. Усі непродані йогурти, які перебувають у продажу два тижні, призначаються на харитативні цілі. Адаже мають – залежно від швидкості поставки від виробника – все ще 2–4 дні придатності до споживання.

Подарунок на харитативні цілі приносить близько 0,5 зл/шт надходження у формі зниження податку, при цьому складування і транспортування непроданих йогуртів коштують 0,2 зл/шт. Отже, вартість йогуртів, призначених на харитативні цілі, після віднімання витрат становить 0,3 злотих.

Встановлюючи знижену ціну на йогурти, було прийняте рішення про те, що вона повинна бути значенням функції  $\text{MAX}(0,5; 2,3-p/2000)$ , де  $p$  є кількістю йогуртів, які залишились після першого тижня продажу. Головним запитанням, на яке повинен відповісти симуляційний експеримент, є: “Скільки йогуртів потрібно замовити на початку кожного тижня?”

Першим етапом у підготовці симуляції є будівництво моделі, яка оцінювала би прибуток нетто на підставі прикладу величини попиту.

Рис. 3 ілюструє модель і результати для одного прикладу симуляції, в якій замовлено 6000 штук йогуртів.

Випадково генерований попит на йогурти у першому тижні продажу становив 4509 штук; решта 1491 штука були переоцінені. Згідно із запропонованим принципом встановлення зниженої ціни у другому тижні продажу решта йогурти коштували 1,55 злотих. Попит на переоцінені йогурти становив 1443 штуки і саме стільки йогуртів було продано. Позостали 48 йогуртів, що залишились і не знайшли покупця упродовж двох тижнів, були призначені на добротинні цілі. Прибуток нетто з вищенаведеної стратегії замовлення і встановлення цін для прикладу випадково генерованої однієї величини попиту становив 3628,24 злотих.

Microsoft Excel - Kalkulacja cen i wielkości zamówienia									
Plik Edycja Widok Wstaw Format Narzędzia Dane Okno Pomoc									
Arial CE 10 B I U % 000 100 100									
C25 =									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>Symulacja kalkulacji cen jogurtu</b>								
2									
3	Koszt produkcji jogurtu			1,50 zł					
4	Cena jogurtu w I tygodniu			2,30 zł					
5	Przeciętny popyt w I tygodniu			6 000					
6	Odchylenie standardowe popytu			2 000					
7	Przeciętny popyt na produkt przeceniony			1 223					
8	Odchylenie standardowe popytu po przecenie			408					
9									
10	Wielkość produkcji			6 000		Koszt zakupu jogurtów			9 000,00 zł
11	Popyt w tygodniu			4 509		Przychód ze sprzedaży w tygodniu			10 370,70 zł
12	Liczba jogurtów przecenionych			1 491		Przychód ze sprzedaży po przecenie			2 243,14 zł
13	Cena po obniżce			1,55 zł		Przychód z darowizny			14,40 zł
14	Popyt po przecenie			1 443		<b>Zysk netto</b>			<b>3 628,24 zł</b>
15	Liczba sprzedanych jogurtów po przecenie			1 443					
16	Liczba jogurtów przeznaczonych na cele charytatywne			48					
17									
18	Średni zysk			3 818,44 zł		Przeciętna liczba jogurtów przecen.			764
19	Odchylenie standardowe					Przeciętna liczba jogurtów			
20	zysku			1 845,47 zł		przeznaczonych na cele charytatywne			247
21									

Рис. 3. Таблица Excel, яка ілюструє симуляційну модель встановлення ціни і величини замовлення йогурту

Джерело: власна розробка на підставі S. Chopra, Supply Chain Management Strategy Planning & Operation, Prentice Hall, 2000, s. 256.

Докладні формули, які є підставою конструкції моделі, наведені у таблиці.

Користуючись поданою моделлю, можна отримати багато прикладів випадкових величин попиту і оцінити прибутки від замовлених 6000 штук йогуртів в окремих прикладах. Використовуючи функцію таблиці даних в Excel, можна отримати багаторазові повторення вищенаведеної симуляції. Метою такої дії є визначення середньої величини прибутку і його стандартного відхилення, середньої кількості переоцінених йогуртів, а також середньої кількості йогуртів, які призначаються на харитативні цілі.

#### Математичні формули таблиці Excel для моделі, яку розглядають

Номер комірки	Формула
D7	=2000-500*D13
D8	=D7/3
D11	=LICZBA.CAŁK(MAX(0;ROZKŁAD.NORMALNY.ODW(LOS( );D5;D6)))
D12	=MAX(0;D10-D11)
D13	=MAX(0,5;2,3-D12/2000)
D14	= LICZBA.CAŁK(MAX(0;ROZKŁAD.NORMALNY.ODW(LOS( );D7;D8)))
D15	= MIN(D12;D14)
D16	=D12-D15
I10	=D3*D10
I11	=MIN(D10;D11)*D4
I12	=D15*D13
I13	=D16*0,3
I14	=SUMA(I11:I13)-I10

Джерело: як у рис. 3, с.257.

Наприклад, у вищенаведеній моделі з метою розмноження результатів симуляції в якості таблиці даних визначений діапазон A23:D522, що дало 500 симуляційних прикладів. З цією метою були впроваджені такі формули:

Комірка	Формула
B23	= I14
C23	= D12
D23	= D16

Прибуток був скопійований до комірки B23, кількість переоцінених йогуртів – до комірки C23, а комірка D23 містить кількість йогуртів, призначених на харитативні цілі. Потім був позначений діапазон A23:D522 і за допомогою функції дані/таблиця, а також визначення комірки A23 як вхідної стовпчикової, було отримано 500 повторів симуляції при застосуванні нових випадкових чисел у кожному рядку таблиці даних. Кожний рядок представляє прибуток, а також кількість переоцінених і призначених на харитативні цілі йогуртів для генерованої величини попиту.

Потім можна розрахувати середню величину прибутку, а також середню кількість переоцінених і призначених на харитативні цілі йогуртів. Результат цієї операції поданий в комірках C18, I18, I20, в комірці C20 додатково розраховано стандартне відхилення величини прибутку. Застосовуючи функції таблиць даних (після 500 повторів), визначено, що замовлення 6000 штук йогуртів у поставці принесе середній прибуток величиною 3818,44 злотих, при середній 764 штуки переоцінених йогуртів і 247 штук призначених на добродійні цілі. Наведений симуляційний експеримент можна легко повторити. Кожне використання клавіші F9 спричиняє генерування нового набору випадкових чисел і перерахунок цілої моделі.

Слід ствердити, що застосування наведеної моделі і симуляція, яка на ній спирається, дозволяє визначати вплив різних вхідних параметрів, пов'язаних зі стратегією замовлень поставок, а також встановленням цін, на діяльність і прибутки підприємства. Результати симуляційного експерименту є тим цінніші, що становлять результат багаторазових повторів дослідних циклів (у цьому випадку 500).

**Висновки.** Наведені приклади свідчать, що застосування калькуляційної таблиці в оптимізаційному моделюванні і симуляції може підтримувати логістичні рішення.

1.S. Krawczyk, *Metody ilościowe w logistyce*, C.H. Beck, Warszawa 2001 oraz tegoż autora *Logistyka w zarządzaniu marketingiem*, Wyd. AE, Wrocław 2000;2. T. Szapiro, *Decyzje menedżerskie.....jw*;3. Zob. S. Kot, *Zastosowanie narzędzi komputerowych do modelowania łańcuchów dostaw*, *Prace Naukowe AE we Wrocławiu nr 944*, Wrocław 2002, s. 479-488; 4. M. Borzestowski, *Simulation*, <http://www.ue.eti.pg.gda.pl/WA/KIE//inne/dok 01 - 00.htm>;5. Microsoft Excel – Help.