

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.7.506-531

УДК 330.45

к.т.н., доцент **Човнюк Ю.В.**,
yuchovnyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0608-0203,

к.т.н., доцент **Приймаченко О.В.**,
prymachenko.ov@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5125-8472,

к.т.н. **Золотар Л.В.**, luydmula.z@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9031-2061,

Мищенко О.Д., mischenko.od@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4493-9648 ,

Чередніченко О.П., orcherednichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0445-2816,
Київський національний університет будівництва і архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ У ЗАДАЧАХ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ЗА УМОВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ Й З УРАХУВАННЯМ (ІНФЛЯЦІЙНИХ) РИЗИКІВ

Наведена та обґрунтована модель, яку можна використовувати у задачах управління запасами за умов невизначеності й з урахуванням різних видів ризиків, зокрема, інфляційних. Стратегія управління запасами при невизначеному (стохастичному) попиті вимагає зазвичай створення певного резерву заздалегідь визначеного обсягу, а потім вже здійснюються чергові поставки запасів. Якщо у певний момент часу загальний запас знижується до розмірів резерву, тоді терміново оформляють заявку на постачання нової партії. Якщо ж виконання заявки вимагає певного часу (цей процес не є миттєвим!), тоді заявка на його поповнення подається тоді, коли запас знизиться до рівня, що перевищує заздалегідь визначений обсяг резерву.

У дослідженні наведений один з найпростіших способів, що дозволяє вирішити проблему резерву, а саме: застосування принципу гарантованого результату, тобто обрання досить великого резерву, який гарантує мінімальний ризик, а саме компенсацію будь-яких випадкових відхилень, що вимагає великих затрат на їх зберігання тощо. Це теж призводить до так званого ризику невикористаних можливостей, тому що великі резерви пов'язані з відволіканням значних коштів. У зв'язку з цим у роботі введені додаткові гіпотези, а в основу розрахунку необхідного резерву закладене поняття допустимого ризику – ймовірності того, що потреба у запасах не перевищить наявного резерву. Введене поняття коефіцієнту ризику, що виражає ймовірність того, що потреби у запасах виявляться незадовільними через недостатність резерву і перевищать його обсяг. Значення коефіцієнту ризику може бути рівним 5% чи 1%.

Використана модифікована формула розрахунків номінальної норми відсотка з урахуванням ризику інфляційного відсотка, до складу якої входять наступні компоненти: 1) реальна безпечна норма відсотка; 2) премія за

інфляцію; 3) премія за інфляційний ризик; 4) премія за ризик інвестиційного проекту (створення резерву – це своєрідні інвестиції); 5) синергетична премія за ризик інвестиційного проекту та інфляції; 6) синергетична премія за ризик інвестиційного проекту і інфляційний ризик; 7) премія за ліквідність (фактично – це оцінка ризику ліквідності).

Визначені обсяги резерву сировини (комплектуючих), що спричиняє зменшення ступеня ризику; у межах моделі М. Міллера та Д. Орра визначені обсяги запасів готівки, де у величині втрачених можливостей (яка пов'язана з утриманням сальдо грошових запасів) враховані інфляційні ризики; у задачі управління запасами за умов невизначеності та зумовленого нею ризику мінімізовані сумарні затрати на утримання запасу за одиницю часу й визначена величина оптимального запасу разом з резервом (в межах модифікованої моделі Вільсона).

Наведений доволі простий метод врахування можливих ризиків, які виникають при створенні запасів (сировини, готівки тощо), вирішена проблема обрання конкретного раціонального значення коефіцієнта ризику (на основі експертних процедур та теорії корисності), що дозволяє відобразити та врахувати відношення суб'єктів з прийняття рішень до ризику.

Ключові слова: моделювання; управління запасами; невизначеність; інфляційні ризики; коефіцієнт ризику; оптимізація резервів.

Постановка проблеми.

Різновиди задач управління запасами та їх складність привели до створення великої кількості математичних моделей, ефективне використання котрих неможливе без застосування економіко-математичних методів та ПЕОМ. Моделі управління запасами відрізняються багатьма компонентами, залежно від характеру зміни величин, які у них входять. Найбільш суттєвим чинником, котрий слід враховувати під час розробки моделі управління запасами, є час. Статичні моделі управління запасами лише наближено відповідають реальним умовам. Більш точний розв'язок може бути одержаний на базі використання динамічних моделей, що враховують час та відповідні залежності.

Слід відзначити, що у багатьох моделях управління запасами одним із головних припущень є те, що, наприклад, попит є заздалегідь відомою детермінованою величиною. Однак у переважній більшості реальних задач попит є випадковою величиною, розподіл імовірності якої може бути як відомим, так і невідомим. У зв'язку з цим виникає економічний ризик, зумовлений невизначеністю, стохастичністю щодо величини попиту. Крім того, виникає ціла низка інших різновидів ризиків, чільне місце серед яких

займають інфляційні ризики. Останні притаманні нашій державі, яка зараз знаходиться у стані війни з РФ.

У більшості випадків величини ризиків можуть бути визначені як відхилення сподіваних результатів щодо потреб у запасах від середньої або сподіваної величини. Подібний підхід реалізований у даному дослідженні шляхом введення коефіцієнта ризику (який приймає значення 5% або 1%).

У роботі реалізована об'єктивна оцінка стратегії формування запасів (сировини, готівки, комплектуючих, готових товарів/виробів, розміщених у складських приміщеннях тощо), в якій враховані їх обсяги і періодичність їх поновлення як змінних з часом параметрів.

Аналіз публікацій по темі дослідження.

В роботах [1-9] проведений аналіз, оцінка і моделювання економічного ризику (у т.ч. із урахуванням інфляції). Тут наведені основні засади якісного та кількісного аналізу ризику, дається система показників кількісної оцінки його ступеня, зокрема, ряд нових показників, що адекватно відповідають обраній системі гіпотез; розглядаються загальні принципи та методологія управління економічними ризиками; приводяться моделі врахування та обрання раціонального ступеня економічного ризику у прийнятті рішень в умовах неповноти (відсутності) кількісної інформації про інфляційні процеси.

Дослідженням питань теорії та методології управління запасами займалися такі відомі вчені-економісти як: Дж. Букан, Е. Кенігсберг, П. Зермат, М. Ліндерс, Х. Фірон, Н.Д. Фасоляк, М.М. Дарбінян, Ю.І. Рижиков, Ю.Г. Гризанов, Б.А. Анікін, В.І. Сергійов, Л.О. Лігоненко, Н.М. Ушакова, М.Д. Виноградський, Н.О. Власова, Л.О. Омелянович, І.О. Бланк, О.А. Круглова та інші [10-28].

Велику роль у дослідженні процесів управління запасами та їх моделювання вніс відомий вчений Вільсон, іменем котрого названа основна модель, за допомогою якої розраховують мінімізацію затрат на обслуговування запасів [8].

Проте авторам даного дослідження не вдалось відшукати роботи, у яких задачі управління запасами були б розв'язані за умов невизначеності й з урахуванням саме інфляційних ризиків.

Мета роботи – це обґрунтування методів моделювання та розв'язку задач управління запасами за умов невизначеності й з урахуванням інфляційних ризиків.

Методи дослідження, які використані у даній роботі: системний аналіз, математичне моделювання, теорія ймовірностей.

Виклад основного змісту дослідження.

Різновиди задач управління запасами та їх складність призвели до створення великої кількості математичних моделей, ефективне використання котрих неможливе без застосування економіко-математичних методів та ПЕОМ. Моделі управління запасами відрізняються багатьма компонентами, залежно від їх характеру зміни величин, які в них входять. Найбільш суттєвим чинником, котрий слід враховувати під час розробки моделей управління запасами, є час. Статичні моделі управління запасами лише наближено відповідають реальним умовам. Більш точний розв'язок може бути одержаний на базі використання динамічних моделей, що враховують час та відповідні залежності.

Слід відзначити, що у багатьох моделях управління запасами одним із головних припущень є те, що, наприклад, попит є заздалегідь відомою детермінованою величиною. Однак у переважній більшості реальних задач попит є випадковою величиною, розподіл ймовірності котрої може бути як відомим, так і невідомим. У зв'язку з цим виникає економічний ризик, зумовлений невизначеністю, стохастичністю щодо величини попиту. Крім того, можливі економічні ризики супроводжуються інфляційними, що характерно для України, яка знаходиться у стані війни з РФ.

Величина ризику може бути визначена як відхилення сподіваних результатів щодо потреб у запасах від середньої або сподіваної величини.

1. Математичні моделі і методи теорії управління запасами. Види та класифікації.

Сьогоднішні економічні умови в Україні диктують суб'єктам господарювання все більш жорсткі правила конкурентної боротьби на ринку, примушують шукати нові ефективні механізми управління виробничими процесами, фінансовими та матеріальними ресурсами. Накопичення і впровадження знань у області логістики є одним з найважливіших факторів підвищення конкурентоздатності й успішного функціонування підприємств України багатьох галузей.

Проблемами управління запасами у логістиці займалось багато вітчизняних та зарубіжних вчених, у результаті чого були вироблені моделі і методи, які дозволяють виконувати конкретні багатоваріантні розрахунки, пов'язані з аналізом й синтезом логістичних систем. Перш за все, ці розробки проводились у суто математичному плані. Зокрема, теорія управління запасами, як відомо, - галузь математики. Саме завдяки цій науці сучасний менеджмент має описану логіку руху запасу і можливість моделювання стану запасу.

За більш ніж столітній досвід досліджень у даній області була створена множина моделей, які описують різні ситуації і варіанти вибору управлінських

рішень, тим не менш, більшість організацій вимушена розробляти нові, авторські або так звані корпоративні моделі управління запасами, котрі закликані реалізувати процес управління запасами оптимальним, для заданих умов діяльності організацій, способом. Таким чином, задля розуміння можливостей вдосконалення моделей і методів управління запасами постає необхідна побудова класифікації чи підходів до класифікації існуючих моделей.

На нашу думку, класичний апарат оптимізації рівня запасів був розроблений ще на початку ХХ століття у межах розділу математики, який отримав назву «Теорія управління запасами». Основним результатом дослідження зв'язку різних показників стану запасу стало виділення двох принципово різних моделей управління запасами: 1) з фіксованим розміром замовлення; 2) з фіксованим інтервалом часу між замовленнями, заснованих на оптимізації розміру замовлення, який відновлює запас (формула Вільсона). Відповідно, усі моделі управління запасами розділені на дві підгрупи у відповідності з двома ключовими можливостями управління - через маніпуляцію розміром замовлення й через маніпуляцію інтервалом часу між замовленнями або частотою видачі замовлення.

У даному дослідженні запропонований підхід, у відповідності з котрим усі моделі розділені на три класи:

- 1) перший клас – включає моделі й методи, призначені для вирішення задач в умовах детермінованих параметрів, без обмежень зі сторони зовнішнього середовища;
- 2) другий клас – моделі й методи, призначені для вирішення задач в умовах ризику й невизначеності, але без конкуренції;
- 3) третій клас – моделі й методи вирішення задач в умовах конкуренції.

Кожний клас, у свою чергу, ділиться на три види, в середині котрих передбачений поділ на групи. Поділ на види визначається ступенем врахування у моделі, яка аналізується, логістичних операцій та функцій, тоді як поділ на групи визначається у першу чергу складністю моделей, зокрема використанням спеціальних процедур, наприклад, оптимізації.

У даному дослідженні запропоновано ділити усі моделі управління ланцюгами постачань на дві групи: а) транзакційні, пов'язані з накопиченням, обробкою і зв'язком вихідних даних про систему постачань компанії й зі складанням й розповсюдженням звітів, які підсумовують ці дані; б) аналітичні, котрі оцінюють проблеми планування системи постачань, використовуючи описові й нормативні (оптимізаційні) моделі.

Авторами даної роботи запропонована ієрархічна класифікація моделей управління ланцюгами постачань, котра дозволяє більш глибоко зрозуміти, де застосовуються і як використовуються ті чи інші моделі. Вказана класифікація слугує концептуальною основою для адекватного вибору методу та засобу вирішення конкретних задач того чи іншого класу.

На верхньому рівні ієрархії усі моделі пропонується ділити за «бізнес-функціями» на два типи: моделі врахування витрат (транзакційні) й моделі операцій (аналітичні).

Подальша класифікація розроблялась тільки для моделей операцій, котрі на другому рівні ієрархії пропонується ділити «за ступенем визначеності» на два класи: детерміновані й невизначені.

На третьому рівні пропонується ділити моделі на групи «за математичними властивостями». При цьому детерміновані моделі будуть поділені на лінійні, нелінійні та багатоцільові моделі, а невизначені моделі – на моделі прийняття рішень, ігрові моделі, моделі управління запасами, моделі прогнозування, моделі систем масового обслуговування та імітаційні моделі.

На четвертому рівні пропонується ділити всі лінійні оптимізаційні моделі «за інтервалом часу, який охоплюється» на статичні (одноперіодні) та динамічні (багатоперіодні).

На п'ятому рівні пропонується поділ усіх статичних і динамічних моделей «за видом змінних» на підгрупи: з безперервними змінними, з булевими змінними, зі змінними змішаного типу.

На шостому рівні пропонується ділити усі лінійні оптимізаційні моделі й статичні і динамічні за «бізнес-процесами» на наступні групи: виробничого планування, розміщення складів й центрів розподілу, транспортні, транспортно-складські та інтегровані моделі ланцюгів постачань, зокрема, виробничо-транспортно-складська модель, інтегрована модель ланцюга постачань й фінансового планування та ін.

При управлінні запасами слід виділити також особливості моделей, обумовлені, зокрема, наступними факторами:

- 1) характером попиту (процес реалізації запасу у загальному випадку представляє собою випадковий процес);
- 2) специфікою вимог обліку тривалості проміжків часу для процедур поповнення запасів (котрі також є, взагалі кажучи, випадковими величинами);
- 3) вибором можливого підходу до прийняття рішень щодо поповнення запасів, у межах котрого будуть попередньо визначатись: а) об'єм приросту запасів; б) моменти подачі замовлень на таке поповнення, включаючи моменти надходження замовлень;

- 4) вибором критерію оптимізації роботи системи управління запасами (мінімізація сумарних річних витрат);
- 5) максимізація показника економічної рентабельності системи;
- 6) максимізація сумарного чистого приведенного доходу, максимізація інтенсивності потоку доходів і т.д.;
- 7) бажаннями чи вимогами обліку часової вартості грошей у межах таких моделей (врахування часової структури діючих на ринку процентних ставок, темпів інфляції);
- 8) специфікою додаткових атрибутів, котрі необхідно врахувати у межах відповідної структуризації системи управління запасами.

Використовуючи все, що зазначене вище, можна виділити наступні основні типи моделей:

а) однокомпонентні (однономенклатурні) – це моделі, у яких розглядається тільки один вид товару чи продукту. Альтернативою їм є відповідно багатоконпонентні (багатономенклатурні) моделі;

б) детерміновані - це моделі, у яких усі атрибути (параметри) системи визначаються як постійні (без урахування факторів випадковості); у протилежному випадку моделі стають стохастичними чи імовірнісними;

в) дискретні (по часу) – це моделі, у яких всі зміни станів системи (витрати запасу, моменти його поповнення) відбуваються у випадкові моменти часу, котрі є цілочисельними випадковими величинами;

г) статичні (одноразові закупівлі) – це моделі, специфікація котрих передбачає, що можливий тільки варіант одноразового замовлення на створення запасу. Альтернативою їм є динамічні моделі;

д) періодичні (за стратегією управління) – це моделі, у яких замовлення щодо поповнення запасу відбувається у кінці кожного періоду часу тривалістю T ; якщо управління поповненням запасів відбувається за станом поточних запасів, тоді таке управління відносять до стратегій з критичними рівнями;

е) планування дефіциту – це моделі, у яких апріорі планується дефіцит, що може бути обумовлено, наприклад, економічними міркуваннями.

Зараз з'явилося багато нових досліджень у області теорії й практики проектування нечітких систем й невизначеного програмування [29-37]. Автори вказаних робіт поряд зі стохастичним програмуванням розглядають також нечітке програмування, неточне програмування, нечітко-випадкове програмування, випадково-нечітке програмування та інші види невизначеного програмування.

Слід зазначити, що математичні моделі більшості задач оптимізації ланцюгів постачань, які зустрічаються у практичній діяльності, відносяться до класів лінійного, цілочисельного, бульового чи змішаного програмування.

2. Модель визначення обсягів резерву сировини (комплектуючих), що спричиняє зменшення ступеня ризику.

У даному пункті дослідження спочатку розглянемо структуру та види запасів, резервів на непередбачувані витрати.

За нестабільного економічного середовища сучасної України, яке виникло внаслідок агресії і тривалої війни з РФ, несвоєчасного виконання прийнятих рішень, помилок в обґрунтуванні оптимального рівня планів тощо виникає суттєвий (навіть катастрофічний) рівень ризику. У зв'язку з чим менеджерам доцільно приймати відповідні заходи, створюючи резервні фонди (фонди ризику) для страхування несприятливих наслідків, зниження ступеня ризику.

Управління запасами пов'язане з проблемою досягнення оптимальної рівноваги між двома конкуруючими чинниками: мінімізацією капіталовкладень у запаси та максимізацією, наприклад, рівня обслуговування споживачів продукції даного підприємства.

Відомо, що до запасів, крім предметів і продуктів праці, належать запаси виробничих потужностей, основних фондів і обігових коштів, незавершене будівництво, кваліфіковані кадри тощо.

Умовно матеріальні запаси можна поділити на три види.

Перший вид – страховий запас готової продукції на складі, призначений для компенсації коливань попиту на ринку [8, 38, 39]. За умов ринкової економіки більшість виробників користуються послугами дилерів, дохід котрих залежить від того, чи вдасться їм знайти споживачів продукції та у найкоротший термін забезпечити їх усім необхідним. Враховуючи, що ринок у нашій країні все ще знаходиться в стадії формування і характеризується суттєвими і важко передбачуваними коливаннями попиту, підприємства/фірми змушені формувати страхові запаси готової продукції для компенсації цих коливань, тобто для зниження ступеня ризику. Запаси позитивно впливають на стимулювання попиту, оскільки дилери гарантовані в будь-який момент швидко одержати необхідний обсяг певного товару. Проте, необхідно врахувати і негативний вплив запасу на фінансовий стан компанії (підприємства), бо у запасах підприємство фактично «заморожує» частину засобів, вилучаючи їх з обігу. Надмірні запаси, резерви обтяжують фірму/підприємство великими затратами.

Другий вид – страховий виробничий запас сировини, матеріалів і комплектуючих виробів.

Під страховим виробничим запасом, як правило, розуміють запас, призначений для запобігання ризику раптової зупинки виробництва внаслідок несвоєчасної поставки сировини, матеріалів і комплектуючих виробів.

Обсяг цього запасу залежить лише від того, наскільки гарантованим є стабільне забезпечення підприємства.

Третій вид – динамічний виробничий запас, що являє собою запас матеріалів і комплектуючих виробів, котрий формується з певною періодичністю і в певних обсягах.

Слід зазначити, що головною метою створення динамічно формованих запасів є зниження прямих виробничих затрат (збитків) при стабільному забезпеченні виробництва необхідним обсягом сировини, матеріалів і комплектуючих виробів.

На ефективність формування запасів впливають два різноспрямовані випадкові чинники: зростання вартості матеріалів і комплектуючих виробів (інфляція на змінні затрати); зростання вартості капіталу (обігових засобів).

Якщо придбати матеріали і комплектуючі в запас на всю виробничу програму, наприклад, на початку року, і використовувати їх у виробництві продукції за «старими» цінами, тоді у запасах будуть «заморожені» великі засоби, попит на які вимагатиме одержання кредиту в банку під значний відсоток. Необхідність обслуговувати цей борг значно збільшить загальні (постійні) затрати, котрі можуть бути обтяжені значним ризиком.

Отже, важливо об'єктивно оцінити стратегію формування запасів, використовуючи їх обсяги і періодичність їх поповнення як змінні параметри.

Наприклад, для визначення обсягів резерву сировини (комплектуючих) можна спиратися на дані щодо минулих відхилень (які задокументовані) від встановлених (обумовлених) термінів постачання. (По суті, слід провести ретроспективний аналіз діяльності підприємства за минулий період). Величину такого резерву, що спричиняє зменшення ступеня ризику, встановлюють перемноженням величини, наприклад, добового споживання сировини (за умов ритмічної роботи підприємства) на кількість діб, визначених як середньоквадратичне відхилення фактичного періоду постачання від обумовленого (середньої величини) за контрактом, й на коефіцієнт, що враховує надійність отримання певного результату.

Проілюструємо це на прикладі 1.

Приклад 1. Нехай середнє добове споживання сировини становить 300 т. Існує домовленість, що сировину постачають однаковими партіями через кожні 17 діб (тобто 21 раз на рік). За попередні півроку зафіксовані відхилення від встановленої величини (17 діб). Дані та попередні обчислення подані в табл. 1. Будуватимемо надійний інтервал для оцінки з надійністю певної величини γ ($\gamma_1 = 0.95$; $\gamma_2 = 0.99$; $\gamma_3 = 0.999$) обсягу резерву (мінімального запасу) сировини (K). Вважатимемо, що середнє квадратичне відхилення σ нормально розподіленої генеральної сукупності X (фактичної кількості діб між

поставками) за весь рік невідоме, а визначене лише середнє квадратичне відхилення S для X за вибірки певного об'єму n .

З табл. 1 відомо, що: $\sigma^* = \sqrt{\frac{S^2}{(n-1)}}$ $S^2 = 13$, $n = 11$. Для знаходження

надійного інтервалу для σ (за заданого значення γ) використаємо наступне співвідношення:

$$\begin{cases} \tilde{S} \cdot (1-q) < \sigma < \tilde{S} \cdot (1+q), & \text{якщо } q < 1; \\ 0 < \sigma < \tilde{S} \cdot (1+q), & \text{якщо } q \geq 1, \tilde{S} = \sigma^*, \end{cases} \quad (1)$$

де $q = q(\gamma, n)$ знаходиться за таблицею й заданими значеннями γ і n [40]. (Слід зазначити, що знайдене σ^* [8] не залежить від γ , а тому не оцінює належним чином існуючі ризики щодо обсягів резервів (мінімальних запасів) сировини K).

Таблиця 1.

Дані та попередні результати обчислення σ^* [8].

Номер поставки	Фактична кількість діб між поставками, (t_i)	Відхилення у днях, ($17 - t_i$)	Квадрат відхилення, ($(17 - t_i)^2$)
1	2	3	4
1	16	1	1
2	17	0	0
3	17	0	0
4	18	-1	1
5	18	-1	1
6	19	-2	4
1	2	3	4
7	17	0	0
8	15	2	4
9	18	-1	1
10	18	-1	1
11	17	0	0
СУМА:			13

У табл. 2 наведені значення обсягів резерву (мінімального запасу) сировини (K) для різних значень γ . (Слід зазначити, що рівень ризику, тобто невідповідність створеного на складі підприємства запасу сировини можливостям задоволення потреб виробництва у конкретній ситуації, що виникла, визначається з наступного співвідношення: $k_{risk} = 1 - \gamma$, де γ - виражене у частинах одиниці).

Використовуючи результати, подані у останньому стовпчику табл. 1, знаходимо середньоквадратичне відхилення $\sigma^* = \sqrt{\frac{13}{(11-1)}} \approx 1.14$. Тому у [8] обсяг резерву (мінімального запасу) сировини (K) повинен дорівнювати $K = 1.14 \times 300 \text{ т} = 342 \text{ т}$. Як вважають автори [8], це забезпечить зниження ризику, що пов'язаний із зупинкою виробництва через нестачу сировини. Але автори [8] не вказують на скільки саме знижується цей ризик (k_{risk}), як і саму величину цього ризику!

Використовуючи співвідношення (1) спочатку знаходимо $q = q(\gamma, n)$. З [40] маємо:

$$q_1(0.95; 11) = 0.59; \quad q_2(0.99; 11) = 0.98; \quad q_3(0.999; 11) = 1.60.$$

Оскільки q_1 та q_2 менші за 1, тоді для таких значень $\gamma_{1,2}$ та $n = 11$ маємо:

$$\begin{cases} \tilde{S} \cdot (1 - q_1) < \sigma_1 < \tilde{S} \cdot (1 + q_1); \Leftrightarrow 1,14 \cdot (1 - 0,59) < \sigma_1 < 1,14 \cdot (1 + 0,59); \\ \tilde{S} \cdot (1 - q_2) < \sigma_2 < \tilde{S} \cdot (1 + q_2); \Leftrightarrow 1,14 \cdot (1 - 0,98) < \sigma_2 < 1,14 \cdot (1 + 0,98); \end{cases} \quad (2)$$

Для $q_3 > 1$ маємо:

$$0 < \sigma_3 < \tilde{S} \cdot (1 + q_3); \Leftrightarrow 0 < \sigma_3 < 1,14 \cdot (1 + 1,60). \quad (3)$$

Умовно позначимо праву верхню межу інтервалу для σ_i як $\sigma_i^{(6)}$. Тоді обсяги резерву $K_i = \sigma_i^{(6)} \times 300 \text{ т}$.

У табл. 2 наведені інтервали, у яких знаходяться значення $\sigma_{1,2,3}$, величини

$\gamma_{1,2,3}$, значення $k_{risk\ 1,2,3}$ та обсяги резерву K_i .

Таблиця 2.

Значення σ_i , γ_i , $k_{risk\ i}$, K_i .

№ п/п	σ_i	γ_i	$k_{risk\ i}$	K_i , т
1	$0,4674 < \sigma_1 < 1.8126$	0.95	0.05	543.8
2	$0.0228 < \sigma_2 < 2.2572$	0.99	0.01	677.2
3	$0 < \sigma_3 < 2.9640$	0.999	0.001	889.2

Результати, наведені у табл. 2, дозволяють стверджувати наступне:

- 1) збільшення γ_i та зниження $k_{risk\ i}$ вимагають збільшення величини K_i ;
- 2) зменшення величини ризику у 5 разів ($0.05/0.01 = 5$) примушує підприємство збільшити мінімальні запаси сировини у $677.2/543.8 \approx 1.25$ рази;
- 3) при зменшенні величини ризику у 50 разів ($0.05/0.001 = 50$) підприємству слід збільшити мінімальні запаси сировини у $889.2/543.8 \approx 1.64$ рази;

4) результати, отримані у даній роботі, суттєво відрізняються від оцінок авторів [8], котрі взагалі ніяким чином не оцінювали рівні ризиків у таких задачах, а саме: $543.8/342 \approx 1.59$, тобто абсолютна помилка у визначенні мінімального запасу сировини на складі підприємства (за доволі незначних ризиків $k_{risk\ 1} = 0.05$) складає 59%.

3. Модель визначення запасів готівки, яка спричиняє зменшення ступеня інфляційних ризиків.

Утримання певного обсягу грошових засобів на банківському рахунку або у формі готівки у касі компанії/фірми є важливим щодо нормального її функціонування. Грошові засоби потрібні компаніям (підприємствам) головним чином для регулювання різного роду зобов'язань. Окрім цього, підприємства утримують сальдо грошових засобів у касі чи на банківському рахунку для протидії наслідкам браку готівки тощо.

Утримання надмірного обсягу грошових засобів може бути чинником, що знижує загальну ефективність господарювання компанії (підприємства).

Оптимізація величини запасів грошових засобів реалізується за різними методами.

Розглянемо, зокрема, модифіковану/уточнену модель М. Міллера - Д. Орра [8], в якій автори даного дослідження враховують низку інфляційних ризиків. Дана модель має ймовірнісний характер – потоки чистих доходів і видатків трактуються як випадкові змінні величини, закон розподілу яких може бути описаний за двома параметрами: математичним сподіванням (середньою величиною) та дисперсією (варіацією). Приймається також гіпотеза, що функція розподілу (даного потоку чистих грошових надходжень і видатків) навколо їх середнього рівня має нормальний закон розподілу.

У даній моделі головними є три величини: оптимальна величина сальдо грошових засобів X^* , їх максимальний рівень $X^{(1)}$ і мінімальний рівень $X^{(2)}$. Причому мінімальний рівень $X^{(2)}$ задають менеджери підприємства, решту величин X^* та $X^{(1)}$ визначають за допомогою моделі. Опускаючи виведення відповідних формул, наведемо лише остаточні результати. Отже, при заданому рівні величини $X^{(2)}$, X^* та $X^{(1)}$ можна обчислити за формулами:

$$X^* = \left\{ \frac{3 \cdot K_S \cdot \sigma^2}{4 \cdot k_M} \right\}^{1/3} + X^{(2)}; \quad (4)$$

$$X^{(1)} = 3 \cdot X^* - 2 \cdot X^{(2)} = 3 \cdot \left\{ \frac{3 \cdot K_S \cdot \sigma^2}{4 \cdot k_M} \right\}^{1/3} + X^{(2)}. \quad (5)$$

У формулах (4) та (5) введені наступні позначення: K_S - стала величина (обсяг) однієї угоди по продажу цінних паперів чи отримання позики; k_M -

величина втрачених можливостей, що пов'язана з утриманням сальдо грошових засобів (дорівнює нормі відсотка, яку можна було б отримати, якщо купити цінні папери, в якій до того ж враховані різні види інфляційних ризиків); σ - середньоквадратичне відхилення потоку чистих грошових надходжень.

Величина k_M у даному дослідженні пропонується знаходити зі співвідношення:

$$k_M = r_{rF} + i \cdot (1 + r_{rF}) + \Delta i \cdot (1 + r_{rF}) + \beta \cdot (r_{rM} - r_{rF}) + \beta \cdot i \cdot (r_{rM} - r_{rF}) + \beta \cdot \Delta i \cdot (r_{rM} - r_{rF}) + \eta, \quad (6)$$

де: r_{rF} - реальна безпечна норма відсотка; i - сподівана величина темпів інфляції; $i \cdot (1 + r_{rF})$ - премія за інфляцію; Δi - надбавка за інфляційний ризик; $\Delta i \cdot (1 + r_{rF})$ - премія за інфляційний ризик; β - коефіцієнт систематичного ризику, що пов'язаний з даним видом інвестиційних проектів; r_{rM} - реальна середньоринкова норма відсотка; $\beta \cdot (r_{rM} - r_{rF})$ - премія за ризик інвестиційного проекту; $\beta \cdot i \cdot (r_{rM} - r_{rF})$ - синергетична премія за ризик інвестиційного проекту та інфляцію; $\beta \cdot \Delta i \cdot (r_{rM} - r_{rF})$ - синергетична премія за ризик інвестиційного проекту та інфляційний ризик; η - премія за ліквідність (оцінює ризик ліквідності, наприклад, цінних паперів).

Приклад 2. Мінімальний рівень сальдо грошових засобів встановлено на нульовому рівні, тобто $X^{(2)} = 0$ (це означає, що у разі потреби підприємство/компанія може без проблем відшукати необхідний обсяг грошових засобів, взявши кредит чи продавши цінні папери), середньоквадратичне відхилення потоку чистих грошових доходів $\sigma = 11$ млн. грн. Стала величина (обсяг) однієї угоди $K_S = 0.5$ млн. грн. Величина (вартість) втрачених можливостей k_M встановлюють наступні параметри: $r_{rF} = 6\%(0.06)$; $i = 10\%(0.1)$; $\beta = 1.2$; $r_{rM} = 18\%(0.18)$; $\Delta i = 3\%(0.03)$; $r_\eta = 8\%(0.08)$.

Спочатку, згідно з (6), визначимо величину k_M :

$$k_M = 0,06 + 0,1 \cdot 1,06 + 0,03 \cdot 1,06 + 1,2 \cdot (0,18 - 0,06) + 1,2 \cdot 0,03 \cdot (0,18 - 0,06) + 1,2 \cdot 0,1 \cdot (0,18 - 0,06) + 0,08 = 0,06 + 0,106 + 0,0318 + 0,144 + 0,00432 + 0,0144 + 0,08 = 0,44052.$$

Використовуючи наведені вище формули (4) та (5), одержимо:

$$X^* = \left\{ 3 \cdot 0,5 \cdot 11^2 / (4 \cdot 0,44052) \right\}^{1/3} + 0 \cong 4,6876 \text{ млн.грн.}$$

$$X^{(1)} = 3 \cdot X^* - 2 \cdot X^{(2)} = 3 \cdot 4,6876 - 0 = 14,0628 \text{ млн.грн.}$$

Менеджер компанії (підприємства) вчинить раціонально, якщо в момент, коли сальдо грошових засобів (вільних грошей) досягне рівня $X^{(1)} = 14.0628$ млн. грн., закупить, наприклад, цінні папери на суму, що становить різницю між величинами $X^{(1)}$ та X^* . У нашому прикладі ця сума дорівнює $X^{(1)} - X^* = 14.0628 - 4.6876 = 9.3752$ млн. грн. = 9375200 грн. (Автори [8] для

наведення тут числових даних припустились суттєвих арифметичних помилок при визначенні X^* , $X^{(1)}$ й $X^{(1)} - X^*$).

4. Використання формули Вільсона при розв'язуванні задачі управління запасами за умов невизначеності та зумовлених нею (інфляційних) ризиків.

4.1. Модель Вільсона оптимального розміру партії постачання без урахування допустимого рівня (інфляційних) ризиків.

Зазвичай під запасом розуміють все те, на що є запит і що виключено тимчасово із споживання. Можна говорити про запаси матеріальних ресурсів, готових запасів, потужностей, трудових ресурсів тощо. У подальшому, у даному дослідженні будемо мати на увазі тільки запаси матеріальних ресурсів.

У задачі керування запасами фігурує два види витрат, які знаходяться у прямій і оберненій залежності від величини окремих параметрів системи. Питомі витрати (за одиницю часу) по завезенню товарів збільшуються із зменшенням інтервалу між двома поставками і зниженням розміру партії, а питомі витрати по збереженню зростають із збільшенням цих параметрів. Тому існує оптимальний розмір партії на замовлення і постачання.

Найпростіша модель (модель Вільсона) оптимального розміру партії постачання ґрунтується на виборі фіксованого розміру партії, яка замовляється, і мінімізує витрати на її постачання і збереження ресурсу.

Партія постачання визначається при таких припущеннях:

а) рівень запасу знижується рівномірно у відповідності з вимогами, які рівномірно надходять згідно із ν (запитом). Коли всі запаси вичерпані, тоді робиться замовлення на постачання нової партії q ;

б) замовлення виконується миттєво, тобто час постачання дорівнює нулю і рівень запасів відновлюється до значення q ;

в) накладні витрати, які пов'язані з розміщенням замовлення і постачанням партії, не залежать від обсягу партії і дорівнюють постійній величині k ;

г) витрати на зберігання одиниці продукції за одиницю часу дорівнюють s .

Витрати L керування запасами, протягом циклу, складаються із витрат організації замовлення і зберігання запасів. Процес зміни рівня I запасів в моделі Вільсона показаний на рис. 1.

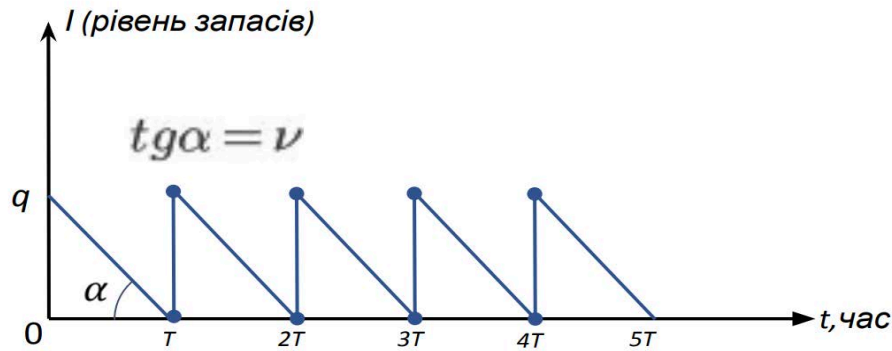


Рис. 1. Циклограма постачання і споживання запасів.

Нехай $T \equiv \tau$ - довжина циклу відновлення постачання ($\tau = q / \nu$). Із закінченням кожної партії пов'язані витрати k . Знайдемо витрати із зберігання із зберігання запасів протягом циклу. Вони пропорційні середній величині поточного запасу і часу зберігання, тобто:

$$L_y = k + s \cdot \frac{q}{2} \cdot \frac{q}{\nu}. \quad (7)$$

Якщо розділити даний вираз на довжину циклу τ , тоді отримаємо витрати за одиницю часу:

$$L = \frac{L_y}{\tau} = \frac{k \cdot \nu}{q} + s \cdot \frac{q}{2}. \quad (8)$$

Якщо представити графічно залежність витрат із зберігання запасів, вартості замовлення та їх суми від q , то вони будуть мати вигляд, який показаний на рис. 2.

Щоб знайти оптимальний розмір партії постачання, продиференціюємо вираз (8) по q (необхідна умова екстремуму функції $L(q)$) й прирівняємо його до нуля:

$$\frac{dL}{dq} = -\frac{k \cdot \nu}{q^2} + \frac{s}{2} = 0 \Leftrightarrow q^* = \sqrt{\frac{2\nu \cdot k}{s}}. \quad (9)$$

У точці $q = q^*$ функція $L(q)|_{q=q^*}$ має екстремум. Тип цього екстремуму

визначає знак другої похідної $\left. \frac{d^2L}{dq^2} \right|_{q=q^*}$ (достатня умова екстремуму, що

визначає тип цього екстремуму):

$$\frac{d^2L}{dq^2} = \frac{2k \cdot \nu}{q^3}; \quad \left. \frac{d^2L}{dq^2} \right|_{q=q^*} = \frac{2k \cdot \nu}{(q^*)^3} > 0. \quad (10)$$

Отже, функція $L(q)$ у точці $q = q^*$ має екстремум типу мінімум.

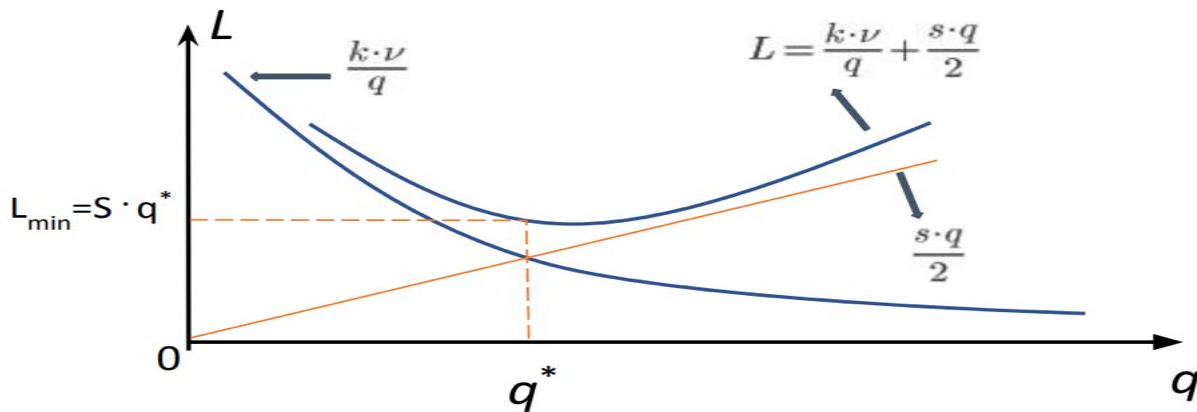


Рис. 2. Залежність питомих витрат від розмірів партії постачання

У результаті розв'язання рівняння отримаємо модель Вільсона оптимально-економічної величини замовлення продукції:

$$L(q) \rightarrow \min, \text{ при } q = q^* = \sqrt{\frac{2v \cdot k}{s}}. \quad (11)$$

За відомим розміром оптимальної партії постачання можна знайти інші параметри системи:

а) оптимальний інтервал часу між постачаннями:

$$\tau^* = \frac{q^*}{v} = \sqrt{\frac{2k}{v \cdot s}}; \quad (12)$$

б) рівень поточного запасу:

$$I = q^* - v \cdot t = \sqrt{\frac{2v \cdot k}{s}} - v \cdot t; \quad (13)$$

в) сумарні витрати по формуванню постачання і зберігання запасів за одиницю часу:

$$L_{\min} = \sqrt{2v \cdot s \cdot k} = s \cdot \sqrt{\frac{2v \cdot k}{s}} = s \cdot q^*; \quad (14)$$

г) оптимальне число постачань за період $T \equiv \tau$:

$$n^* = \frac{v \cdot \tau}{q^*} = \sqrt{\frac{v \cdot s \cdot \tau^2}{2k}}. \quad (15)$$

Якщо задана не інтенсивність споживання v за одиницю часу, а загальний його обсяг Q за плановий період $\tilde{T} = (v = Q/\tilde{T})$, тоді модель Вільсона можна подати у такому вигляді:

$$q^* = \sqrt{\frac{2k \cdot Q}{s \cdot \tilde{T}}}; \quad \tau^* = \sqrt{\frac{2k \cdot \tilde{T}}{s \cdot Q}}; \quad L_{\tilde{T}}^* = \sqrt{\frac{2k \cdot s \cdot Q}{\tilde{T}}}. \quad (16)$$

Задля бездефіцитної роботи у системі, у початковий момент часу, необхідний деякий початковий запас I_0 . Якщо позначити через θ - час реалізації замовлення, тоді $I_0 = v \cdot \theta$. Знайдемо моменти часу розміщення замовлення. Нехай $I_{3П}$ - наявний початковий запас. Для бездефіцитної

роботи потрібно, щоб $I_{3П} \geq v \cdot \theta$. Тоді $I_{3П} / v$ - час споживання запасу. Щоб партія прибула до моменту повного використання початкового рівня запасу, її потрібно розмістити у момент часу $t_0 = I_{3П} / v - \theta$, а інші замовлення у момент часу:

$$t_n = \frac{I_{3П}}{v} - \theta + n \cdot \tau^*, \quad n \in N \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \quad (17)$$

Модель Вільсона у поданому вище вигляді може бути використана для розрахунку оптимальної партії запуску продукції у виробництво. У цьому випадку

k - витрати, які пов'язані з переналадкою обладнання і не залежать від величини партії, що випускається; q - величина партії запуску; v - інтенсивність споживання, наприклад, річна потреба у продукції; s - витрати по зберіганню одиниці виробленої продукції за одиницю часу.

4.2. Модель Вільсона оптимального розміру партії постачання з урахуванням доступного рівня (інфляційних) ризиків.

Стратегія управління запасами при невизначному (стохастичному) попиті вимагає створення певного резерву заздалегідь визначеного обсягу K , а потім здійснюються чергові поставки запасів. Якщо у певний момент часу загальний запас знижується до розмірів резерву, терміново оформляють заявку на постачання нової партії. Якщо ж виконання заявки вимагає певного часу, тоді заявка на його (запасу) поповнення подається тоді, коли запас знизиться до рівня $K + \tilde{L}$, $\tilde{L} > 0$.

Одним з найпростіших способів, що дозволяє вирішити проблему резерву, є застосування принципу гарантованого результату, тобто обрання досить великого резерву, який гарантує мінімальний ризик, тобто компенсацію будь-яких випадкових відхилень, що, у свою чергу, вимагає великих затрат на зберігання запасів тощо. Це теж призводить до так званого ризику невикористаних можливостей, тому що великі резерви пов'язані з відволіканням значних коштів. Тому слід ввести додаткові гіпотези, а в основу розрахунку необхідного резерву закласти поняття допустимого ризику – ймовірності того, що потреба у запасах не перевищить наявного резерву. Вводять поняття коефіцієнта ризику [8], який виражає ймовірність того, що потреби у запасах виявляться незадовільними через недостатність резерву і перевищать його обсяг. Зазвичай значення коефіцієнта ризику може бути рівним 5% чи 1%.

Позначимо через V потребу у продукції між двома поставками і сформулюємо задачу.

Необхідно визначити такий обсяг резерву K , щоб коефіцієнт ризику p_z , тобто ймовірність (P) того, що резерв виявиться недостатнім, був би не більшим (рівним) заданій величині p_z , тобто:

$$P(V > q + K) \leq p_z, \text{ або } P((V - q) > K) \leq p_z, \quad (18)$$

де: q - розмір постачання (розмір партії), який можна розглядати як детерміновану величину.

Для визначення K потрібно знати закон розподілу випадкової величини V . Тут можливим є ряд варіантів та гіпотез.

Припустимо, що потреба у запасах, тобто величина V розподілена за нормальним законом з параметрами q та σ^2 , де: σ - середньоквадратичне відхилення.

Позначимо:

$$u = (V - q) / \sigma. \quad (19)$$

Тепер можна записати вираз для щільності ймовірностей:

$$p(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp(-u^2 / 2) \quad (20)$$

Задача полягає у знаходженні величини $u_{p_z} = (V - q) / \sigma$, що залежить від коефіцієнта ризику (ймовірності) p_z , для котрого справедливе рівняння:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{u_{p_z}}^{\infty} \exp(-u^2 / 2) du = p_z. \quad (21)$$

За змістом прийнятих допущень резерв K повинен бути таким, щоб імовірність появи дефіциту була рівною p_z .

Тоді з $(V - q) / \sigma = u_{p_z}$ випливає, що резерв, який відповідає коефіцієнту ризику p_z , повинен дорівнювати щонайменше:

$$K \geq (V - q) = u_{p_z} \cdot \sigma. \quad (22)$$

Тому, якщо, наприклад, $p_z = 0.05$, тоді $K = 1,64 \cdot \sigma$.

Можна зробити висновок, що розміри резерву K визначаються прийнятим коефіцієнтом ризику (p_z) та коливанням (розкидом) потреб у запасах, що характеризується середньоквадратичним відхиленням σ , величина якого наближено визначається на базі статистичної обробки значень попиту за попередні періоди.

Якщо позначити через b сподівану інтенсивність попиту, то загальні затрати на управління запасами будуть становити:

$$B(q) = \tilde{C}_1 \cdot b / q + \tilde{C}_2 \cdot (q / 2 + u_{p_z} \cdot \sigma), \quad (23)$$

де: \tilde{C}_1 - затрати на оформлення замовленої партії, що не залежать від розміру (обсягу) партії і виникають кожного разу під час її розміщення (з урахуванням інфляційних ризиків); \tilde{C}_2 - затрати на зберігання одиниці запасу за одиницю часу (з урахуванням інфляційних ризиків); $B(q)$ - сумарні затрати на утримання запасу за одиницю часу.

Зазначимо, що:

$$\tilde{C}_1 = C_1 \cdot \left(1 + \frac{r}{T_p}\right)^{T_1}, \quad \tilde{C}_2 = C_2 \cdot \left(1 + \frac{r}{T_p}\right)^{T_2}, \quad (24)$$

де: T_p - тривалість року, у днях ($T_p = 365$ днів; $T_p = 366$ днів; $T_p = 360$ днів – тривалість фінансового року); T_1 - середня тривалість у часі виконання замовлення, дні; T_2 - середня тривалість у часі зберігання запасу, дні; C_1 - затрати на оформлення замовленої партії, що не залежать від розміру (обсягу) партії і виникають щоразу під час її розміщення, без урахування інфляційних ризиків; C_2

- затрати на утримання запасу за одиницю часу, без урахування інфляційних ризиків; r - номінальна норма відсотка, яка враховує інфляційні та інші види ризиків ($r = k_M$, k_M знаходимо по формулі (6)).

(У період триваючої на території України війни з РФ існують високі темпи інфляції та значні величини інших видів ризиків, що примушує розрахунки \tilde{C}_1 та \tilde{C}_2 проводити, орієнтуючись на проміжки часу, котрі враховуються у днях).

Затрати $B(q)$ будуть мінімальними, якщо:

$$\frac{dB(q)}{dq} = -\tilde{C}_1 \cdot b / q^2 + \tilde{C}_2 / 2 = 0. \quad (25)$$

Звідси можна визначити величину оптимального розміру партії:

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{2\tilde{C}_1 \cdot b}{\tilde{C}_2}}, \quad (26)$$

при цьому $B(q)|_{q=q_{opt}} \rightarrow \min$, оскільки $\frac{d^2B(q)}{dq^2} > 0$ при $q = q_{opt}$.

З (26) видно, що на розмір партії розмір резерву не впливає.

Оптимальний запас разом з резервом дорівнює:

$$W = \sqrt{\frac{2\tilde{C}_1 \cdot b}{\tilde{C}_2}} + u_{p_z} \cdot \sigma, \quad (27)$$

де: W - необхідний запас разом з резервом.

Приклад 3. Сподівана квартальна інтенсивність попиту становить 2000 одиниць, затрати на оформлення замовленої партії (з урахуванням інфляційних та інших видів ризиків) складає 10 млн. грн, затрати на збереження одиниці запасу за одиницю часу (за день) з урахуванням інфляційних та інших видів ризиків складають 1 млн. грн.

Окрім цього, відомо, що середньоквадратичне відхилення потреб у запасах становить 50 одиниць.

Приймаємо, що потреби у запасах мають нормальний закон розподілу, а коефіцієнт ризику, що резерв виявиться недостатнім, обрано на рівні 0,05.

Обчислимо оптимальну величину запасу разом з резервом.

Розв'язок. Skorиставшись викладеним вище, а також формулою (27) одержимо:

$$W = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^7 \cdot 2000}{1 \cdot 10^6}} + 1,64 \cdot 50 = 200 + 82 = 282 \text{ одиниці,}$$

де резерв становить 82 одиниці (а запас – 200 одиниць).

Вище наведений один з найпростіших методів врахування (інфляційних) ризиків. Однією з проблем, які ускладнюють задачу, є проблема обрання конкретного раціонального значення коефіцієнта ризику. Тут ефективно можуть застосовуватись, зокрема, експертні процедури та теорія корисності, що дозволяє відобразити та врахувати відношення суб'єктів з прийняття рішень до ризику тощо.

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтована математична модель для задач управління запасами за умов невизначеності й з урахуванням інфляційних та інших видів ризиків.

2. Визначені обсяги резервів сировини (комплектуючих), що спричиняють зменшення ступеня ризику, оцінюють стратегію формування запасів, використовуючи їх обсяги і періодичність їх поповнення як змінні параметри.

3. У межах моделі М. Міллера та Д. Орра запропонована вдосконалена схема розрахунку запасів готівки, яка враховує інфляційні та інші види ризиків.

4. Використання відомої у літературі моделі Вільсона дозволило створити алгоритм і схему розрахунків основних параметрів резервів та запасів у задачах управління за умов невизначеності та зумовленого цим (невизначеністю) ризику (інфляційного та ін.).

5. Отримані у роботі результати можуть бути у подальшому використані для уточнення й вдосконалення існуючих методів розрахунків запасів та резервів за умов невизначеності та зумовленого нею ризику (інфляційного та ін.) у задачах управління.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вітлінський В.В. Врахування ризику та інфляції в моделюванні та оцінюванні інвестиційних проектів. – К., 1995. 11 с. – Деп. у КДЕУ 20.02.95, №497 – Ук 95.
2. Вітлінський В.В. Економічний ризик: системний аналіз, менеджмент. – К., 1994. – 245 с. – Деп. у КДЕУ 17.10.94, №2035 – Ук94.
3. Вітлінський В.В. Машинна обробка інформації по управлінню запасами з урахуванням ризику. Машинна обробка інформації. – 1995. - №56. С. 126-130.
4. Вітлінський В.В. Моделювання ризику в трансформаційному менеджменті. – К., 1995. – 14 с. – Деп. у КДЕУ 5.10.95, №753 – Ук 95.
5. Вітлінський В.В., Наконечний С.І. Економічний ризик і проблеми його моделювання. – К., 1993. – 8 с. – Деп. у КДЕУ 20.12.93, №2499 – Ук 93.

6. Ястремський О.І. Моделювання економічного ризику. – К.: Либідь, 1992. – 176 с.
7. Moore P.G. The business of risk. – Cambridge, 1983. - 375 p.
8. Вітлінський В.В., Наконечний С.І. Ризик у менеджменті. – К.: ТОВ «Борисфен-М», 1996. – 336 с.
9. Вітлінський В.В. Аналіз, оцінка і моделювання економічного ризику. – К.: КДЕУ, 1996. – 176 с.
10. Барабанов І.В., Бутенко О.П. Оптимізація рівня запасів на підприємстві з використанням формули Вільсона. Вісник економіки тр-ту і промисл. 2011. №36. С. 118-121.
11. Бесараб Д.А. Моделі управління запасами підприємства в системі вартісно-орієнтованого управління. Економіка і регіон. – Полтава, ПолтНТУ, 2014. №3. С. 89-93.
12. Бублик М.О. Проблеми управління виробничими запасами на підприємствах та шляхи їх вирішення. Управління розвитком. 2014. №2(165). С. 90-92.
13. Вітлінський В.В. Моделювання економіки. – К.: КНЕУ, 2003. 408 с.
14. Гончаров Ю.В. Кравченко І.В. Оцінка виробничих запасів: вітчизняний та зарубіжний досвід. Облік і фінанси АПК: бухгалтерський портал. [Електр. вид.]. Режим доступу: <http://magazine.faaf.org.ua/ocinka-virobnichih-zapasiv-vitchiznyaniy-ta-zarubizhniy-dosvid.html>.
15. Давидюк Т.В., Дорошенко І.І. Систематизація моделей управління матеріальними запасами для прийняття управлінських рішень бухгалтерами-аналітиками. Молодий вчений. 2014. №6(09). С. 109-112. [Електронне видання]. Режим доступу: http://repozitory.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-press/18822/1/2014_Davydiuk_Systematyzatsiia_modeliei.pdf.
16. Климак М.С., Войко С.В. Економіко-математичне моделювання системи керування запасами: імітаційна модель. [Електр. вид.]. Реж. дост.: <http://problekonomu.kpi.ua/pdf/2012-33/pdf>.
17. Кравцова А.М., Сисюк О.А. Системи та моделі управління запасами підприємства. [Електрон. видання]. Реж. дост.: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/2011_2_1/034-038.pdf/
18. Крючкова І.В. Оптимізація матеріальних запасів на сучасному підприємстві: економічний аспект. Ефективна економіка. 2012. №7. [Електронне видання]. Режим доступу: www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1279
19. Кушніренко О.С. Моделювання управління складськими запасами / О.С. Кушніренко, Н.В. Ралле // Вісник КНУТД «Економіка та управління підприємствами». Серія «Економічні науки». 2015. №2(85). С. 69-73.
20. Манжос Т.В. Вплив знижок при закупівлі на оптимальний розмір запасу підприємства в умовах невизначеності. Формування ринк. відн. в Україні. 2012. №2. С. 133-139.
21. Маркова Н.О., Кіосева І.А. Імітаційне моделювання управління запасами. Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу. 2015. №2(30). С. 50-56.
22. Маркозов Д.О. Математична модель оптимізації вартості і терміну управління багатономенклатурними запасами. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. №17(1060). – С. 56-62.
23. Потапова Н.А. Кількісні методи в прогнозуванні запасів матеріально-технічних ресурсів. Зб. наук. праць НУ «Львівська політехніка». Серія: Логістика. – Львів: НУ «Львівська політехніка». 2007. №580. 468 с.
24. Селезньова Н.О., Козакова І.С. Використання формули Вільсона для визначення економічного розміру замовлення на промислових підприємствах. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://web.znu.edu.ua/herald/issues/2012/eco-4-2012/100-105/pdf>

25. Тараненко Ю.В. Способи моделювання системи управління товарними запасами. Ефективна економіка. 2015. №9. [Електронне видання]. Режим доступу: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/9_2015/30.pdf
26. Хомяков В.І., Кошеленко С.В. Сучасні тенденції в управлінні запасами підприємств та моделювання запасів. [Електронне видання]: Режим доступу: [Znpchdtu_2012_-32\(1\)_3_.pdf](#)- Hamster PDF Reader.
27. Хомяков В.І., Кошеленко С.В. Використання економіко-математичних методів та моделювання в системі управління запасами. Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. пр. – Кривий Ріг: КТУ, 2006. Випуск 11. С. 236-241.
28. Черняк Н.І. Модель формування запасів матеріально-технічних ресурсів. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2011. №2. Т.1. С. 34-38.
29. Пономарьов О.С. Нечеткие множества в задачах автоматизированного управления и принятия решения: Навчальний посібник. – Харків: НТУ «ХП», 2005. 232 с.
30. Fuzzy Programming Language: <http://www.ortech-engr.com/fuzzy/fpl.html>.
31. Yan J., Ryan M., Power J. Using Fuzzy Logic: Towards Intelligent Systems. – Prentice-Hall, 1995.
32. Zadeh L.A. Toward a Perception-based Theory of Probabilistic Reasoning//Melo-Pinto P., Teodorescu H.-N., Fukuda T. (eds.). Systematic Organization of Information in Fuzzy Systems. – IOS Press, 2003. P. 3-5.
33. Yager R.R., Zadeh L.A. Fuzzy Sets, Neural Networks and Soft Computing. – New York, Van Nostrand Reinhold, 1994.
34. Провотар О.І., Лапко О.В. Деякі підходи до обчислення умовної невизначеності. Проблеми програмування. 2012. №2-3. Спеціальний випуск. С. 443-449.
35. Лисенко Д.Е. Оптимізаційні моделі планування виробництва з урахуванням невизначеності. Системи управління, навігації та зв'язку. Зб. наук. праць. – Полтава: ПНТУ, 2017. Т.2(42). С. 167-170. – Реж. дост.: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/694>. (дата звернення: 23.01.2024).
36. Мещеряков В.І., Лашина К.В. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів з дисципліни «Невизначене програмування» ОДЕКУ, (електронн. варіант) 2017. 88 с.
37. Жуковська О.А., Ткачова Д.Г. Динамічна модель управління запасами з інтервальною невизначеністю попиту. Ек. вісн. НТУУ «КПІ»: зб. наук. пр. 2012. №9. С. 477-483.
38. Пономаренко О.І., Перестюк М.О., Бурим В.М. Основи математичної економіки. – К.: Інформтехніка, 1995. 281 с.
39. Наконечний С.І., Терещенко Т.О., Романюк Т.П. Економетрія: Підручник. – К.: КНЕУ, 2004. 520 с.
40. Руденко В.М. Математична статистика. Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2012. 304 с.

Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor **Chovniuk Yurii**,
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor **Priymachenko Aleksey**,
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor **Zolotar Luydmula**,
senior lecturer **Mischenko Olena**, Assistant **Cherednichenko Oleksandra**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

MODELING IN INVENTORY MANAGEMENT PROBLEMS UNDER UNCERTAINTY AND TAKING INTO ACCOUNT (INFLATION) RISKS

A model that can be used in the problems of inventory management under uncertainty and taking into account various types of risks, in particular, inflation risks, is presented and substantiated. The strategy of stock management under uncertain (stochastic) demand usually requires the creation of a certain reserve of a predetermined volume, and then the next deliveries of stocks are made. If at a certain point in time the total stock is reduced to the size of the reserve, then an urgent order for delivery of a new batch is made. If the fulfillment of the request requires a certain time (this process is not instantaneous!), then the request for its replenishment is submitted when the stock decreases to a level exceeding the predetermined amount of the reserve.

The study provides one of the simplest ways to solve the reserve problem, namely, applying the principle of guaranteed result, i.e. electing a large enough reserve that guarantees minimum risk, namely, compensation of any random deviations, which requires large costs for their storage and the like. This also leads to the so-called opportunity risk as large reserves are associated with the diversion of significant funds. In this connection, additional hypotheses are introduced in the paper, and the concept of acceptable risk - the probability that the need for reserves will not exceed the available reserve - is used as the basis for calculating the required reserve. The concept of risk coefficient is introduced, which expresses the probability that the need for reserves will be unsatisfactory due to the insufficiency of the reserve and will exceed its volume. The value of the risk coefficient can be equal to 5% or 1%.

The paper uses a modified formula for calculating the nominal rate of interest with inflation interest rate risk, which includes the following components: 1) real safe rate of interest; 2) inflation premium; 3) inflation risk premium; 4) investment project risk premium (reserve creation is a kind of investment); 5) synergistic premium for investment project and inflation risk; 6) synergistic premium for investment project and inflation risk; 7) liquidity premium (in fact, it is an assessment of liquidity risk).

In the study the volumes of raw materials (components) reserve are determined, which leads to the reduction of risk degree; within the framework of M.

Miller and D. Orr's model the volumes of cash reserves are determined, where inflation risks are taken into account in the value of missed opportunities (which is related to the content of cash reserves balance); in the task of reserves management under uncertainty and the risk caused by it, the total costs of maintaining the reserve per unit of time are minimized and the value of the optimal reserve together with the reserve is determined (within the framework of the modified model of V. Miller and D. Orr).

The paper provides a rather simple method of accounting for possible risks arising in the creation of stocks (raw materials, cash, etc.), solved the problem of selecting a specific rational value of the risk coefficient (based on expert procedures and utility theory), which allows to reflect and take into account the attitude of decision-making subjects to risk.

Keywords: modeling; inventory management; uncertainty; inflation risks; risk ratio; reserve optimization.

REFERENCES

1. Vitlinskyi V.V. Vrakhuvannia ryzyku ta infliatsii v modeliuvanni ta otsiniuvanni investytsiinykh proektiv. – K., 1995. 11 s. – Dep. u KDEU 20.02.95, №497 – 4k 95. {in Ukrainian}
2. Vitlinskyi V.V. Ekonomichnyi ryzyk: systemnyi analiz, menedzhment. – K. 1994. – 245 s. – Dep. u KDEU 17.10.94, №2035 – 4k94. {in Ukrainian}
3. Vitlinskyi V.V. Mashynna obrobka informatsii po upravlinniu zapasamy z urakhuvanniam ryzyku. Mashynna obrobka informatsii. – 1995. - №56. S.126-130. {in Ukrainian}
4. Vitlinskyi V.V. Modeliuvannia ryzyku v transformatsiinomu menedzhmenti. – K., 1995. – 14 s. – Dep. u KDEU 5.10.95, №753 – 4k 95. {in Ukrainian}
5. Vitlinskyi V.V., Nakonechnyi S.I. Ekonomichnyi ryzyk i problemy yoho modeliuvannia. – K.,1993. – 8 s. – Dep. u KDEU 20.12.93, №2499 – 4k 93. {in Ukrainian}
6. Iastremskyi O.I. Modeliuvannia ekonomichnoho ryzyku. – K.: Lybid, 1992. – 176 s. {in Ukrainian}
7. Moore P.G. The business of risk. – Cambridge, 1983. - 375 p. {in English}
8. Vitlinskyi V.V., Nakonechnyi S.I. Ryzyk u menedzhmenti. – K.: TOV «Borysfen-M», 1996. – 336 s. {in Ukrainian}
9. Vitlinskyi V.V. Analiz, otsinka i modeliuvannia ekonomichnoho ryzyku. – K.: KDEU, 1996. – 176 s. {in Ukrainian}
10. Barabanov I.V., Butenko O.P. Optyimizatsiia rivnia zapasiv na pidpriemstvi z vykorystanniam formuly Vilsona. Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti. 2011. №36. S. 118-121. {in Ukrainian}
11. Besarab D.A. Modeli upravlinnia zapasamy pidpriemstva v systemi vartisno-orientovanoho upravlinnia. Ekonomika i rehion. – Poltava, PoltNTU, 2014. №3. S. 89-93. {in Ukrainian}
12. Bublik M.O. Problemy upravlinnia vyrobnychymy zapasamy na pidpriemstvakh ta shliakhy yikh vyrishennia. Upravlinnia rozvytkom. 2014. №2 {in 165}. S. 90-92. {in Ukrainian}

13. Vitlinskyi V.V. Modeliuvannia ekonomiky. – K.: KNEU, 2003. 408 s. {in Ukrainian}
14. Honcharov Yu.V., Kravchenko I.V. Otsinka vyrobnychkykh zapasiv: vitchyzniani ta zarubizhnyi dosvid. Oblik i finansy APK: bukhhalterskyi portal. [Elektronne vydannia]. Rezhym dostupu: <http://magazine.faaf.org.ua/ocinka-virobnichih-zapasiv-vitchiznyaniy-ta-zarubizhniy-dosvid.html>. {in Ukrainian}
15. Davydiuk T.V., Dorenko I.I. Systematyzatsiia modelei upravlinnia materialnymy zapasamy dlia pryiniattia upravlinskykh rishen bukhhalteramy-analytykamy. Molodyi vchenyi. 2014. №6(09). S. 109-112. [Elektronne vydannia]. Rezhym dostupu: http://repozitory.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-press/18822/12014_Davydiuk_Systematyzatsia_modelli.pdf. {in Ukrainian}
16. Klymak M.S., Voiko S.V. Ekonomiko-matematychno modeliuвання systemy keruvannia zapasamy: imitatsiina model. [Elektronne vydannia]. Rezhym dostupu: <http://probl-ekonomy.kpi.ua/pdf/2012-33/pdf>. {in Ukrainian}
17. Kravtsova A.M., Sysiuk O.A. Systemy ta modeli upravlinnia zapasamy pidpriemstva. [Elektronne vydannia]. Rezhym dostupu: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/2011_2_1/034-038.pdf/ {in Ukrainian}
18. Kriuchkova I.V. Optyimizatsiia materialnykh zapasiv na suchasnomu pidpriemstvi: ekonomichnyi aspekt. Efektyvna ekonomika. 2012. №7. [Elektr. Vyd.]. Rezhym dostupu: www.economy.nanka.cjv.ua/?op=1&z=1279 {in Ukrainian}
19. Kushnirenko O.S. Modeliuvannia upravlinnia skladskymy zapasamy / O.S. Kushnirenko, N.V. Rallie // Visnyk KNUTD «Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy». Serii «Ek. nauky». 2015. №2(85). S. 69-73. {in Ukrainian}
20. Manzhos T.V. Vplyv znyzhok pry zakupivli na optimalnyi rozmir zapasu pidpriemstva v umovakh nevyznachenosti. Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini. 2012. №2. S. 133-139. {in Ukrainian}
21. Markova N.O., Kiosieva I.A. Imitatsiine modeliuвання upravlinnia zapasamy. Visn. Berdianskoho universytetu menedzhmentu i biznesu. 2015. №2(30). S. 50-56. {in Ukrainian}
22. Markozov D.O. Matematychna model optyimizatsii vartosti i terminu upravlinnia bahatonomenklaturnymy zapasamy. Visnyk NTU «KhPI». Serii: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2014. №17(1060). – S. 56-62. {in Ukrainian}
23. Potapova N.A. Kilkisni metody v prohnozuvanni zapasiv materialno-tekhnichnykh resursiv. Zb. nauk. prats NU «Lvivska politehnika». Serii: Lohistyka. – Lviv: NU «Lvivska politehnika». 2007. №580. 468 s. {in Ukrainian}
24. Seleznova N.O., Kozakova I.S. Vykorystannia formuly Vilsona dlia vyznachennia ekonomichnogo rozmiru zamovlennia na promyslovykh pidpriemstvakh. [Elektronne vydannia]. Rezhym dostupu: <http://web.znu.edu.ua/herald/issnes/2012/eco-4-2012/100-105/pdf> {in Ukrainian}
25. Taranenko Yu.V. Sposoby modeliuвання systemy upravlinnia tovarnymy zapasamy. Efektyvna ekonomika. 2015. №9. [Elektronne vydannia]. Rezhym dostupu: http://www.economy.nferf.com.ua/.pdf/9_2015/30.pdf {in Ukrainian}
26. Khomiakov V.I., Koshelenko S.V. Suchasni tendentsii v upravlinni zapasamy pidpriemstv ta modeliuвання zapasiv. [Elektronne vydannia]. Rezhym dostupu: [Znpchdtu_2012_-32\(1\)3.pdf](#)- Hamster PDF Reade. {in Ukrainian}

27. Khomiakov V.I., Koshelenko S.V. Vykorystannia ekonomiko-matematychnykh metodiv ta modeliuvannia v systemi upravlinnia zapasamy. Visnyk Kryvorizkoho tekhnichnoho universytetu: zb. nauk. pr. – Kryvyi Rih: KTU, 2006. Vypusk 11. S. 236-241. {in Ukrainian}
28. Cherniak N.I. Model formuvannia zapasiv materialno-tekhnichnykh resursiv. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky. 2011. №2. T.1. S. 34-38. {in Ukrainian}
29. Ponomarov O.S. Nechetkye mnozhestva v zadachakh avtomatyzyrovannoho upravleniia y pryniatyia resheniia: Navchalnyi posibnyk. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 232 s. {in Russian}
30. Fuzzy Programming Language: <http://www.ortech-lngr.com/fuzzy/fpl.html>. {in English}
31. Yan J., Ryan M., Power J. Using Fuzzy Logic: Towards Intelligent Systems. – Prentice-Hall, 1995. {in English}
32. Zadeh L.A. Toward a Perception-based Theory of Probabilistic Reasoning//Melo-Pinto P., Teodorescu H.-N., Fukuda T. (eds.). Systematic Organisation of Information in Fuzzy Systems. – JOS Press, 2003. P. 3-5. {in English}
33. Yager R.R., Zadeh L.A. Fuzzy Sets, Neural Networks and Soft Computing. – New York, Van Nostrand Reingold, 1994. {in English}
34. Provotar O.I., Lapko O.V. Deiaki pidkhody do obchyslennia umovnoi nevyznachenosti. Problemy prohramuvannia. 2012. №2-3. Spetsialnyi vypusk. S. 443-449. {in Ukrainian}
35. Lysenko D.E. Optyimizatsiini modeli planuvannia vyrobnytstva z urakhuvanniam nevyznachenosti. Syshtemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Zb. nauk. prats. – Poltava: PNTU, 2017. T.2 {in 42). S. 167-170. – Rezhym dostupu: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/694>. (data zv.: 23.01.2024) {in Ukrainian}
36. Meshcheriakov V.I., Lapshyna K.V. Metodychni vkazivky dlia samostiinoi roboty studentiv z dystsypliny «Nevyznachene prohramuvannia» ODEKU (elektronnyi variant) 2017. 88 s. {in Ukrainian}
37. Zhukovska O.A., Tkachova D.H. Dynamichna model upravlinnia zapasamy z intervalnoiu nevyznachenistiu popytu. Ekonomichni visnyk NTUU «KPI»: zb. nauk. prats. 2012. №9. S. 477-483. {in Ukrainian}
38. Ponomarenko O.I., Perestiuk M.O., Buryim V.M. Osnovy matematychnoi ekonomiky. – K.: Informtekhnik, 1995. 281 s. {in Ukrainian}
39. Nakonechnyi S.I., Tereshchenko T.O., Romaniuk T.P. Ekonometriia: pidruchnyk. – K.: KNEU, 2004. 520 s. {in Ukrainian}
40. Rudenko V.M. Matematychna statystyka. Navchalnyi posibnyk. – K.: Tsentr navchalnoi literatury, 2012. 304 s. {in Ukrainian}