

УДК 519.86:164
DOI: 10.32342/2616-3853-2018-1-11-2

Б.О. ДЕМ'ЯНЧУК,
*доктор технічних наук, доцент,
завідувач кафедри технічного забезпечення
Військової академії (м. Одеса)*

В.М. КОСАРЄВ,
*кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри інформаційних технологій
Університету імені Альфреда Нобеля (м. Дніпро)*

В.А. МАХАНЬКОВ,
*Старший викладач кафедри технічного
забезпечення Військової академії (м. Одеса)*

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОДАТКОВИХ ЗАПАСІВ МАТЕРІАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У СИСТЕМІ ЛОГІСТИКИ

Запропоновано методичні основи оптимізації обсягу і часу розміщення додаткових запасів матеріальних засобів у системі логістики: надання послуг; виробництва; оборонного призначення, в умовах невизначеності випадкового і антагоністичного типу. Вирішення завдання оптимізації, наведене в цій статті, вимагає пошуку екстремуму функції дискретного аргументу. Саме це викликає необхідність застосування методу дискретної оптимізації. Подібне вирішення завдання дає результат, який є більш адекватним у відношенні до реальних умов практики.

Ключові слова: логістика, запаси, матеріальні засоби, технічний стан, оптимізація, модель, управління.

Предложены методические основы оптимизации объема и времени размещения дополнительных запасов материальных средств в системе логистики: предоставления услуг; производства; оборонного назначения, в условиях неопределенности случайного и антагонистического типа. Решение задачи оптимизации, приведенное в данной статье, требует поиска экстремума функции дискретного аргумента. Именно это вызывает необходимость применения метода дискретной оптимизации. Подобное решение задачи дает результат, который является более адекватным по отношению к реальным условиям практики.

Ключевые слова: логистика, запасы, материальные средства, техническое состояние, оптимизация, модель, управление.

Постановка проблеми. Умови значної випадкової, природної та антагоністичної невизначеності вимагають вирішення специфічного завдання управління запасами для забезпечення безперервного функціонування складної системи. Прикладом є очікувані бойові чи виробничі втрати і витрати, а саме потреби в поповненні запасів матеріальних засобів (МЗ) усіх видів, особливо продуктів живлення, боєприпасів для військової частини або комплектуючих для виробництва чи ремонту обладнання, нафтопродуктів та мастильних матеріалів.

Проблема полягає в тому, що створення запасів на етапі підготовки, наприклад, операції, їх поповнення на етапі проведення операції вимагають значних як матеріаль-

них витрат, так і витрат часу. Ці витрати часу на постачання, як правило, через дії противника і пошкодження комунікацій значно перевищують витрати часу, які потрібні для поповнення запасів під час підготовки до операції. З іншого боку, занадто великі запаси, що зроблені до початку інтенсивних витрат і витрат, пов'язані з ризиком їх втрат ще до початку головних подій.

Мета ефективного управління запасами полягає, передусім, в оптимізації обсягів запасів за критерієм мінімальних загальних витрат часу, наприклад, за критерієм найменших середніх тимчасових витрат на створення додаткових запасів і поповнення їх у ході операції. Безумовно, маємо на увазі, що на етапі підготовки до операції ці витрати часу призначені для поповнення запасів, що витрачаються в ході операції. Проте при створенні зайвих запасів у цьому випадку зростає небезпека їх бойових або природних витрат одразу з початком операції. При створенні недостатніх запасів з'являється ризик незадовільної своєчасної забезпеченості ефективного функціонування підрозділів складної системи в ході операції через навмисні або випадкові пошкодження комунікацій.

Актуальність теми. Таким чином, вирішення завдання оптимізації запасів матеріальних засобів, передусім продуктів життєдіяльності, боєприпасів, нафтопродуктів та мастильних матеріалів, є принципово важливим. При цьому, оскільки видів матеріальних засобів може бути декілька і всі вони, як правило, потрібні кожній частині складної системи, то видається, що доцільною є більш універсальна постановка і вирішення завдання оптимізації запасів у системі логістики.

Аналіз останніх досягнень у дослідженнях. Дослідження, що присвячені вирішенню завдань оптимізації процесів виробничого або військового призначення, набувають особливо інтенсивного розвитку з початком створення інформативно-аналітичних технологій у всіх сферах розвинутих країн світу. Ці дослідження здійснюються протягом багатьох десятиріч. Прикладом є публікації [1–4].

В [1] запропоновано метод оптимізації фінансових витрат в умовах нестачі часу на постачання послуг.

У публікації [2] розглянуто методику статистичної перевірки гіпотез для прогнозування достовірності реалізацій варіантів технологічних змін з урахуванням відомих планових показників цих змін, що розподілені за законом Релея.

У [3] запропоновані моделі впровадження технологічних новинок за допомогою логістичних *s*-подібних функцій симетричної та несиметричної форми.

У публікації [4] наведено методи пошуку екстремумів у задачах однокритеріальної та багатокритеріальної оптимізації.

Більшість відомих публікацій містить достатньо ефективний апарат, методи оптимізації процесів надання послуг, виробництва і оборонної сфери. Але частіше мова йде про пошук екстремуму функції неперервного аргументу.

Вирішення завдання оптимізації, наведене в цій статті, потребує пошуку екстремуму функції дискретного аргументу. Саме це викликає необхідність застосування методів дискретної оптимізації. Подібне вирішення завдання дає результат, що є більш адекватним до реальних умов практики.

Метою статті є оптимізація обсягу і розташування додаткових запасів матеріальних засобів у системі військової логістики, а саме оптимізація запасу визначених матеріальних засобів (комплектів) для сукупності однотипних підрозділів складної системи. Критерієм є середні загальні витрати часу на постачання комплектів матеріальних засобів. Причому під комплектом розумітимемо або боєприпаси, або нафтопродукти та мастильні матеріали, або устаткування пункту управління, або блоковий комплект автомобільних запчастин, або блоковий комплект запчастин для відновлення обладнання, що може бути пошкодженим.

Подібні оптимізаційні завдання на практиці доводиться вирішувати не тільки працівникам підрозділів Міністерства надзвичайних ситуацій, але і представникам волонтерських організацій, керівникам громадських формувань, керівництву військової

логістики, військовому командуванню. Усе це підкреслює *актуальність теми* дослідження.

Постановка завдання. Вважатимемо, що оптимізації підлягає кількість комплектів запасу матеріальних засобів. Мається на увазі комплект в обсязі комплекту для одного структурного підрозділу.

Доцільно знайти найкращий обсяг запасу матеріальних засобів (нафтопродуктів та мастильних матеріалів, комплектів засобів управління, ремонтних комплектів обладнання, ремонтних комплектів автотранспорту) і потрібної кількості автомобілів для підвезення запасів з тим, щоб він був достатнім і в той же час не був надмірним в умовах дефіциту і обмеженого часу. Необхідно враховувати випадковий характер «попиту» на матеріальні засоби (боєприпаси, нафтопродукти та мастильні матеріали, устаткування пунктів управління, агрегати і вузли озброєння і автотранспорту) в ході операції через невизначеність конкретних втрат вказаних засобів та їх витрат з початком операції, а також необхідність заощадження часу при забезпеченні дій певного угруповання споживачів.

Викладення основного матеріалу. Нехай за результатами оцінки, наприклад, сил стихії і потреб споживачів, відомо, що *міра очікуваних (ймовірних) втрат матеріальних засобів у k підрозділах споживачів* характеризуються ймовірністю:

$$W(x, y, k) = W(x, y) + \Delta W(x, y, k), \quad \forall k = 1, \dots, \infty, \quad (1)$$

де: $x = \{x_1, x_2, \dots\}$ – варіанти дій сил логістики для зниження очікуваних втрат;

$y = \{y_1, y_2, \dots\}$ – варіанти дій природних катаклізмів, що викликають збільшення втрат тих засобів, що протидіють стихії;

k – кількість комплектів додаткового запасу матеріальних засобів, які можуть у ході операції знадобитися, що кількісно дорівнює кількості підрозділів у лінії споживачів, які мають втратити свої комплекти матеріально-технічних засобів;

$W(x, y, k)$ – міра втрат матеріальних засобів середньої (за даними прогнозування втрат) кількості k підрозділів угруповання споживачів.

Час на доставку матеріальних засобів *до початку* операції в k підрозділів-споживачів характеризуються величиною витрат часу, що дорівнює t_1 . Витрати часу на доставку *в ході* операції у разі порушення стихією дорожніх умов характеризуються істотно більшою величиною і дорівнюють $t_2 \gg t_1$.

Вимагається визначити ту кількість матеріальних засобів для N підрозділів споживачів, які доцільно *додатково* створити до початку операції, для того щоб **сумарні витрати** часу на доставку МЗ в ході підготовки операції та *середні витрати* часу (через нестачу запасів МЗ протягом операції) були **мінімальними**.

Вирішення завдання оптимізації. Побудуємо модель *цільової функції операції у вигляді загальних середніх витрат часу для забезпечення сукупності підрозділів споживача матеріальними засобами*.

Позначимо через $t(N)$ сумарні середні витрати часу, що, як правило, відповідають деякому запасу, який дорівнює N комплектів МЗ. Для цієї функції $t(N)$, яка є цільовою, складемо залежність:

$$t(x, y, N) = t_1(x, y) \sum_{k=0}^V W(x, y, k)(V - k) + t_2(x, y) \sum_{k=v+1}^{\infty} W(x, y, k)(k - N). \quad (2)$$

Функцію t необхідно мінімізувати, відшукавши таке ціле, не від'ємне число N комплектів матеріально-технічних засобів, яке приводить до мінімального значення $t(N)$ в умовах, коли стихією створюються найменш сприятливі умови для забезпечення споживачів, а дії сил логістики спрямовані протилежно. Математично цільова функція має такий (узагальнений) вигляд:

$$t^* = t(N^*) = \min_N \min_{x_i} \max_{y_j} [t_1 \sum_{k=0}^N W(k)(V - k) + t_2 \sum_{k=V+1}^{\infty} W(k)(k - N)]. \quad (3)$$

Поточне значення цільової функції має вигляд:

$$t(N) = t_1 \sum_{k=0}^N (V - k) W(k) + t_2 \sum_{k=V+1}^{\infty} (k - N) W(k). \quad (4)$$

Визначимо умови, які має задовольняти число N^* . Оскільки цій величині відповідає найменший рівень середніх витрат часу на доставку МЗ в розташування споживачів, $t(N^*)$, то це означає, що, якщо від цього найкращого значення величини N , яке дорівнює N^* (чи до його еквівалента V^*), відняти або додати до нього одиницю, відповідні середні витрати часу можуть лише зрости, тобто справедливі такі нерівності:

$$\begin{aligned} t(N^* - 1) - t(N^*) &\geq 0. \\ t(V^* + 1) - t(N^*) &\geq 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Перейдемо до пошуку величини N^* . У виразі (4) замінимо N спочатку на $N+1$. У результаті перетворень (4) отримаємо:

$$\begin{aligned} t(N+1) &= t_1 \sum_{k=0}^{N+1} (N+1-k) W_k + t_2 \sum_{k=N+2}^{\infty} (k-N-1) W_k = \\ &= t_1 \sum_{k=0}^N (N-k) W(k) + t_1 \sum_{k=0}^N W(k) + t_2 \sum_{k=N+1}^{\infty} W(k-N) - \\ &- t_2 \sum_{k=N+1}^{\infty} W(k). \end{aligned} \quad (6)$$

З урахуванням, що $\sum_{k=0}^{\infty} W(k) = 1$, запишемо залежність:

$$1 - \sum_{k=0}^N W(k) = \sum_{k=N+1}^{\infty} W(k).$$

Тоді співвідношення (6) згідно з (4) набирає вигляду:

$$t(N+1) = t(N) + (t_1 + t_2) \sum_{k=0}^N W(k) - t_2. \quad (7)$$

Замінюючи в (7) аргумент N на $(N-1)$, отримаємо:

$$t(N-1) = t(N) - (t_1 + t_2) \sum_{k=0}^{N-1} W(k) + t_2. \quad (8)$$

Підставляючи (7) і (8) в рівняння (5), отримуємо систему нерівностей:

$$\begin{cases} (t_1 + t_2) \sum_{k=0}^{N^*} W(k) - t_2 > 0 \\ -(t_1 + t_2) \sum_{k=0}^{N^*-1} W(k) + t_2 > 0 \end{cases}. \quad (9)$$

Розв'язок системи (9) дає шукане значення оптимального запасу для k підрозділів споживачів. З (9) знаходимо, що найкращим є той запас комплектів N^* матеріально-технічних засобів, який доцільно мати до початку оборонної операції, що задовольняє нерівність:

$$\sum_{k=0}^{N^*-1} W(k) < \frac{t_2}{t_1 + t_2} < \sum_{k=0}^{N^*} W(k). \quad (10)$$

Повертаючись до загального запису, подібного (3), знаходимо, що найбільш прийнятним є запас такої кількості комплектів N^* матеріальних засобів, тобто запас комплектів матеріальних засобів на k підрозділів угруповання споживачів, за якого справедлива нерівність:

$$\min_{x_i} \max_{y_j} \sum_{k=0}^{N^*-1} W(x, y, k) < \min_{x_i} \max_{y_j} \frac{t_2(x, y)}{t_1(x, y) + t_2(x, y)} < \min_{x_i} \max_{y_j} \sum_{k=0}^{N^*} W(x, y, k). \quad (11)$$

З отриманого результату видно, що цей *гарантований рівень оптимального запасу комплектів матеріальних засобів для успішного забезпечення операції в системі логістики* визначається:

- співвідношенням часів підвезення матеріальних засобів, а саме: на *етапі підготовки* до операції та на *етапі протиборства* із силами стихії;
- достовірністю обліку очікуваних варіантів дії катаклізмів;
- адекватністю підготовлених і вживаних силами логістики протидій у ході операції забезпечення споживачів;
- розподілом імовірнісних (очікуваних) (втрат + витрат) матеріальних засобів у ході операції з урахуванням кількості пошкоджених і витрачених комплектів матеріальних запасів.

Приклад. Нехай у результаті оцінки сил стихії та сил логістики відомо, що найбільш серйозні втрати (при найбільш несприятливих (для сил логістики) варіантах дії стихії при найбільш сприятливих варіантах дії сил логістики, що протидіють стихії) очікуються у лінії споживачів протяжністю 60 км.

При цьому розподіл ймовірності $W(k)$ пошкоджень і витрати запасів МЗ у 12 підрозділах споживачів характеризується даними, наведеними в табл. 1, де k – кількість комплектів додаткового запасу МЗ, які можуть у ході операції знадобитися, що кількісно дорівнює кількості підрозділів у лінії споживачів.

Таблиця 1

Розподіл ймовірності втрат і витрат комплектів запасу матеріальних засобів у підрозділах

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W(k)	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,17	0,20	0,16	0,06	0,05	0,04	0,04	0,02

Нехай час підвезення МЗ в район лінії споживачів складає: до початку операції $t_1 = 2,0$ год ; у ході операції: $t_2 = 8,0$ год.

Необхідно визначити оптимальний запас: а) найбільш вигідної кількості комплектів додаткового запасу МЗ, N^* ; б) оптимальних запасних обсягів кожного з видів МЗ.

Розв'язок:

а) згідно з умовою (10) отримуємо нерівність:

$$\sum_{k=0}^{N^*-1} W(k) < \frac{8}{2+8} < \sum_{k=0}^{N^*} W(k), \quad (12)$$

яка, відповідно до даних табл. 1, є справедливою лише при $N^* = 7$;

б) оптимальний обсяг додаткових запасів МЗ для операції забезпечення споживачів системою логістики становить, наприклад, такий перелік:

- 1) продовольства: $V = N^* \cdot k - T = 14$ к-т підрозділу;
- 2) нафтопродуктів та мастильних матеріалів: $G = N^* \cdot 3$ заправки = 21;
- 3) устаткування пунктів управління: $U = N^* \cdot 1$ к-т = 7 комплектів;
- 4) запасні комплекти для відновлення обладнання і автотранспорту: $T = N^* \cdot 1$ к-т = 7 комплектів.

Наведений приклад ілюструє ефективність, адекватність і універсальність алгоритму (11) для обґрунтування оптимального управління запасами МЗ в системі логістики під час підготовки і протягом операції.

Крім того, з отриманого алгоритму наочно простежується послідовність дій для знаходження відповідей на питання, що зазвичай становлять серйозну складність для штабу операції, менеджерів системи логістики, керівників і організаторів забезпечення споживачів у період підготовки і проведення операції в умовах значної невизначеності різного типу.

Після оцінки основних і додаткових запасів МЗ усіх видів, що визначені за результатами попередньої оцінки обстановки і своїх можливостей (див. табл. 1), визначення очікуваних втрат МЗ за їх видами, витрат цих МЗ і можливості поповнення запасів на початку операції необхідно приділити увагу збільшенню живучості кожної з підсистем забезпечення, враховуючи результати її оцінки. Але це є окремим складним завданням.

Отримані, таким чином, загальні результати можуть стати основою і для висновків про життєздатність системи забезпечення угруповання споживачів у цілому, і для визначення раціональних шляхів суттєвого підвищення життєздатності системи забезпечення.

Список використаних джерел

1. Kratzke A.W. Cost optimization subject to availability constraint = Оптимизация расходов в условиях ограниченный на готовность / A.W. Kratzke, J. Ganger // Proc/Annu. Reliab. and Maintainability Symp. – Washington D.C., New York, 1979. – P. 73–78. – Реф. ст. в: Экономика промышленности: РЖ. – 1980. – № 2. – С. 52.
2. Murthy D.N.A. A stochastic model for technology forecasting = Стохастическая модель для прогнозирования технологических изменений / D.N.A. Murthy // Technol. Forecast. and Soc. Change. – 1979. – № 14 (1). – С. 27–37. – Реф. ст. в: Экономика промышленности: РЖ. – 1980. – № 1. – С. 63.
3. Basic Models = Модели внедрения новшеств // Technol. Substit. Forecast. Techn. and Appl. – New York e.a., 1976. – Реф. ст. в: Экономика промышленности. Применение математических методов в экономических исследованиях и планировании. – 1980. – № 2. – С. 27.
4. Уайлд Д.Дж. Методы поиска экстремума / Д.Дж. Уайлд. – М.: Наука, 1967. – 267 с.

References

1. Kratzke, A.W., Ganger, J. (1979). *Cost optimization subject to availability constraints*. Proc/Annu. Reliab. and Maintainability Symp. Washington, New York, pp. 73-78. Abstract in: *Ekonomika promyshlennosti* [Industrial economics], 1980, no. 2, p. 52.
2. Murthy, D.N.A. (1979) *A stochastic model for technology forecasting*. Technol. Forecast. and Soc. Change, no. 14 (1), pp. 27-37. Abstract in: *Ekonomika promyshlennosti* [Industrial economics], 1980, no. 1, p. 63.
3. *Basic Models* (1976). Technol. Substit. Forecast. Techn. and Appl., New York e.a. Abstract in: *Ekonomika promyshlennosti. Primeneniye matematicheskikh metodov v ekonomicheskikh issledovaniyakh i planirovanii* [Economics of industry. The use of mathematical methods in economic research and planning], 1980, no. 2, p. 27.
4. Wild D.J. (1967). *Metody poiska ekstremuma* [Extreme search methods]. Moscow, Nauka, 267 p.

METHODICAL BASES FOR OPTIMIZATION OF ADDITIONAL STOCKS OF MATERIAL RESOURCES IN THE SYSTEM OF LOGISTICS

Borys O. Demianchuk, Military Academy, Odesa (Ukraine). E-mail: bademyanchuk@ukr.net

Viacheslav M. Kosariev, Alfred Nobel University (Ukraine). E-mail: ut5ex@ukr.net

Viktor A. Makhankov, Military Academy, Odesa (Ukraine). E-mail: mva1949@ukr.net

DOI: 10.32342/2616-3853-2018-1-11-2

Key words: *logistics, stocks, material resources, technical condition, optimization, model, management.*

The conditions of considerable random, natural and antagonistic uncertainty require the solution of a specific problem of inventory management to ensure the continuous operation of a complex system. An example is the expected combat or production losses and costs, namely, the need to replenish stocks of material resources of all kinds, especially food, ammunition of a military unit and components for the production or repair of equipment, petroleum products and lubricants.

The problem is that the creation of stocks at the preparation stage, for example, operations, their replenishment at the stage of the operation requires significant both material costs and time-consuming. These delivery time costs, as a rule, due to the actions of the enemy and damage to communications, far exceed the time required to replenish stocks in preparation for the operation. On the other hand, too large reserves, made before the start of intensive losses and costs associated with the risk of their loss before the start of the main actions.

The proposed methodological basis for optimizing the volume and time of placing additional stocks of material resources in the logistics system: the provision of services; production; defense purposes, in the face of uncertainty of the random and antagonistic type.

In practice, such optimization tasks have to be tackled not only by employees of the Ministry of Emergency Situations, but also by representatives of volunteer organizations, and heads of public organizations, and the military logistics management, and military commanders.

A large number of well-known publications contain a fairly effective apparatus, methods for optimizing various processes that are important for practical use. But they often talk about finding the extremum of a function of a continuous argument.

The solution of the optimization problem in this paper requires the search for the extremum of a function of a discrete argument. That is what makes it necessary to use the method of discrete optimization. Such a solution of the problem gives a result that is more adequate in relation to the real conditions of the practice.

The general results obtained in this way can also be the basis for conclusions about the viability of the system for ensuring the grouping of consumers as a whole, and for determining rational ways to significantly increase the viability of the providing system.

Одержано 21.08.2018.