

ДЕЯКІ ПОГЛЯДИ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СИЛ ОБ'ЄКТОВИХ ФОРМУВАНЬ ЦИВІЛЬНОЇ ОБОРОНИ

Питання ефективного виконання завдань щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій є актуальними. Це зумовлено тим, що за останні десятиріччя в Україні спостерігається негативна тенденція зростання кількості надзвичайних ситуацій природного й техногенного характеру, які почали призводити в деяких районах до незворотних змін навколишнього природного середовища й позначатися на ефективності економіки та безпеки держави. Дані обставини вимагають нового підходу до організації і здійснення цивільного захисту, якісного вдосконалення єдиної Державної системи попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, цивільний захист, цивільна оборона, рятувальні та інші невідкладні роботи, об'єктові формування цивільної оборони.

Аналіз можливих масштабів і наслідків надзвичайних ситуацій сучасності показує, що для організаційного ведення рятувальних і інших невідкладних робіт завчасно за рішенням відповідного начальника цивільної оборони має бути створене угруповання потрібних сил з оптимальною до надзвичайної ситуації та пристосованою до неї структурою. Зрозуміло, що це буде зовсім не організаційно-штатна структура, яка є незмінною і тому слабоприспосованою до конкретної унікальної ситуації.

Відомо, що структура є системною ознакою, яка описує склад функціональних елементів системи і зв'язки між ними. Концептуальний "вигляд" системи за структурною ознакою наведений на рис. 1 [1, 2, 3].

Складна система (сили цивільної оборони) має ієрархічну структуру:

нижній рівень ієрархії — виконавчі органи (штаби, підрозділи) та підпорядковані ним підрозділи сил (ресурсна частина);

вищій рівень ієрархії — органи управління різних рівнів (інформаційна частина).

Керуюча частина має функції: організаційного управління (планування розподілу дій сил за об'єктами застосування, постановка планових завдань виконавчим органам);

© О.В. Хіврич, А.М. Литвиненко, 2007

The questions of effective performance of tasks of liquidation of consequences of extreme situations are urgent. These circumstances demand the new approach to organization and performance of tasks of civil protection in territory of Ukraine, qualitative improvement of uniform State system of the prevention and liquidation of extreme situations.

Key words: an extreme situation, civil protection, civil defense, saving and other urgent jobs, formation of a civil defense.

оперативного управління (керування процесом дій сил щодо виконання завдань) — підтримка відповідності ходу процесу сценарію — плану дій та плану оптимального розподілу сил за об'єктами застосування.

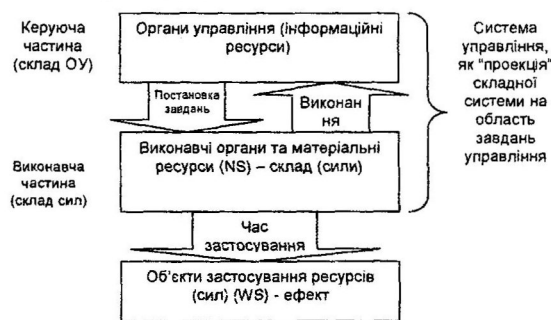


Рис. 1. Концептуальний "вигляд" системи цивільної оборони за структурною ознакою

Виконавча частина має функції:

підготовка сил до виконання планових завдань; дії сил за об'єктами застосування згідно з планами.

Вирішення задачі оптимізації структури сил цивільної оборони полягає у визначенні складу (розрахункових одиниць) різномірних сил для кожного завдання (заходу) рятувальних та інших невідкладних робіт і за-

гального складу сил формувань цивільної оборони (ресурсного потенціалу) та їх здатності (боездатності) в акті застосування, а також у визначенні складу органів управління угрупованням сил (функціями кожного рівня ієрархії, у т.ч. й виконавчих органів) [1, 4].

Ефективність системи цивільної оборони є мірою її досконалості, що оцінюється співвідношенням системного ефекту WS та витратами потенціалу RS , ($RS=NS \cdot TS$) здатності, якими ефект досягнутий у акті застосування:

$$ES = WS / RS.$$

Кінцевий результат дії сил пов'язаний з такими показниками: досягнутий системний ефект — WS ; склад сил, що його створили — NS ; час виконання завдання — TS .

Відзначимо, що саме ці показники складають завдання силам цивільної оборони згори за рівнем ефекту виконання рятувальних і інших невідкладних робіт, складом сил та часом на виконання завдань.

Отже, ефективність системи цивільної оборони оцінюється співвідношенням:

$$ES = \frac{WS_{\text{потр}}}{NS \cdot TS_{\text{дир}}} \left[\frac{(\text{од. ефекту})}{(\text{од. сил}) (\text{од. час})} \right].$$

Підвищити ефективність слід зменшенням складу сил NS , який зможе при цьому досягти потрібного ефекту за директивний час, тобто

$$\uparrow ES \Rightarrow \frac{WS_{\text{потр}}}{\downarrow NS \cdot TS_{\text{дир}}}.$$

Загальна задача оптимізації сил об'єктових формувань цивільної оборони має дві інтерпретації:

пряма задача — на множині планів розподілу сил за об'єктами застосування $\{X\}_{\text{пр}}$, кожний з котрих $X = \|x_{ij}\|_{\text{mn}}$ задовольняє умови обмеження:

$$WS(X) \geq WS_{\text{потр}};$$

$$NS(X) \leq NS_{\text{оц}} = \sum_{i=1}^m x_{ij},$$

знайти такий (оптимальний) план $X^0 = \|x_{ij}^0\|_{\text{mn}}$, що мінімізує тривалість процесу застосування:

$$TS(X^0) = \min_{\{X\}} TS(X);$$

обернена задача — на множині $\{X\}_{\text{об}}$ планів розподілу сил за об'єктами застосування, кожний з котрих

$X = \|x_{ij}\|_{\text{mn}}$ задовольняє обмеження:

$$WS(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_j \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{X_{ij}} \right) \geq WS_{\text{потр}},$$

$$TS(X) = \sum_{j=1}^n T_j \leq TS_{\text{дир}},$$

знайти такий (оптимальний) $X^0 = \|x_{ij}^0\|_{\text{mn}}$, що мінімізує загальний склад сил РХБ захисту:

$$NS(X^0) = \min_{\{X\}} NS(X) = \sum_{j=1}^n X_{ij}.$$

Вирішення як прямої, так і оберненої задачі оптимізації сил об'єктових формувань цивільної оборони

максимізує системну ефективність, що є основною умовою щодо критерію ефективності [1, 2, 3].

Критерієм оптимальності структури сил об'єктових формувань цивільної оборони є мінімум складу різномірних сил, який спроможний досягти мету ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, тобто обидві задачі максимізують ефективність сил, дійсно:

пряма:

$$ES_{\text{пр}} = \frac{WS_{\text{потр}}}{NS_{\text{оц}} \cdot \min TS} = \max ES;$$

обернена:

$$ES_{\text{об}} = \frac{WS_{\text{потр}}}{\min NS \cdot TS_{\text{дир}}} = \max ES.$$

Виходячи з зазначеного, потрібна методика визначення оптимального складу сил об'єктових формувань цивільної оборони для ліквідації наслідків будь-якої надзвичайної ситуації.

На відміну від існуючих методик побудови сил об'єктових формувань цивільної оборони певної організації структури запропонована методика спрямована на формування угруповання сил цивільної оборони, структура якого максимально пристосована до виконання силами завдань ліквідації наслідків будь-якої надзвичайної ситуації в конкретному акті застосування, тобто оперативної структури, що є оптимальною за критерієм максимуму цільової ефективності сил, а саме:

оптимальний розподіл сил за об'єктами застосування згідно з завданням за критерієм мінімуму складу сил, що спрямовані забезпечити потрібний рівень виконання рятувальних і інших невідкладних робіт при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;

оптимальний план дій сил у процесі виконання кожного завдання щодо проведення рятувальних і інших невідкладних робіт;

обчислення оптимального співвідношення різномірних сил при їх мінімальній кількості (оптимізація структури);

оптимальна координація при децентралізації управління, що максимізує ефективність управління відповідними силами при мініальному складі органу управління.

Для математичного формулювання задачі оптимізації сил об'єктових формувань цивільної оборони необхідно визначити математичний вигляд цільової функції, вигляд обмежень, обрати математичний метод розв'язання задачі, провести дослідження методу на предмет його збіжності відносно отриманого результату. На основі дослідження алгоритму оптимізації сил слід відпрацювати рекомендації щодо його використання при підготовці відповідних варіантів застосування сил об'єктових формувань цивільної оборони.

Відомо, що для формулювання задачі оптимізації сил об'єктових формувань цивільної оборони потрібно виконати дві умови. Перша — це побудова цільової функції, друга — побудова функцій обмежень (їх може бути одна або декілька). Далі залежно від виду цільової функції та функцій обмежень обирається метод вирішення. Подібний підхід ("операційний метод") використовується при розв'язанні будь-яких задач, що належать до класу задач математичного програмування [2, 3].

Зміст задачі — оптимізація (мінімізація) складу сил об'єктових формувань цивільної оборони, який зможе при цьому досягти потрібного ефекту за директивний час, за рахунок раціонального розподілу різно-рідних сил та засобів. Для розв'язання цієї задачі скористуємося аналітичним методом нелінійного програмування [3].

Акт застосування сил при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації полягає у виконанні сукупності різно-рідних завдань щодо досягнення мети:

$$Z = (z_j, j = \overline{1, n}).$$

Сили мають розрахункові одиниці (р.о.) різних спеціалізацій:

$$R = (r_i, i = \overline{1, n}),$$

які мають „питому” продуктивність створення ефекту по кожному завданню:

$$P = \|p_{ij}\|_{mn}.$$

При цьому завдання мають пріоритети важливості щодо кінцевої мети.

$$C = (c_j, j = \overline{1, n}).$$

Планом розподілу сил по завданнях є матриця:

$$XS = \|x_{ij}\|_{mn}, \quad (1)$$

де x_{ij} — кількість р.о. i -го типу, що призначаються на j -те завдання.

Вважаємо, що ефект по j -му завданню є

$$W_j(x_{ij}) = C_j \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right\}, j = \overline{1, n}.$$

Тоді сумарний ефект щодо виконання завдань

$$WS(x) = \sum_{j=1}^n W_j(x_{ij}, i = \overline{1, m}) = \sum_{j=1}^n C_j \left\{ 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right\}.$$

Витрати (склад) сил за видами становитимуть

$$NS = \left[\left(N_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} \right), j = \overline{1, m} \right].$$

Планом дій (сценарієм) є матриця:

$$SS = \|s_{ij}\|_{mn}, \quad (2)$$

де S_{ij} — дії (заходи) сил X_{ij} .

Вектор — стовпчик матриці (2):

$$S_j = \begin{bmatrix} S_{1j} \\ S_{2j} \\ \vdots \\ S_{mj} \end{bmatrix}, j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

дає сукупність заходів (дій) сил:

$$X_j = \begin{bmatrix} X_{1j} \\ X_{2j} \\ \vdots \\ X_{mj} \end{bmatrix}, j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

що являють собою процес щодо виконання завдання Z_j .

Моделлю процесу (3) і (4) є сільовий граф

$G_j = \{G, H\}$, $j = \overline{1, n}$, який має дуги G та інцидентні до них вершини H , причому вершина h_0 з дугами, що виходять з неї, є початковим станом процесу, вершина h_k із дугами, що заходять до неї, є кінцевим станом процесу, а

інші вершини h є проміжними станами процесу, коли закінчуються заходи, що є вершинами, які заходять, і починаються заходи, що є дугами, які виходять з вершини h . Очевидно, розрахункові одиниці ресурсів (підрозділи) мають спеціалізації згідно зі змістом заходів, що становлять процес — (G) .

Розглянемо процес з діями (заходами), що має певний обсяг заходів та призначені на них ресурси (рис. 2). Тут індекси ресурсу — X_{ki} , де $k, 1$ — інцидентні до заходу a_{ki} вершини; спочатку це x_{ij} .

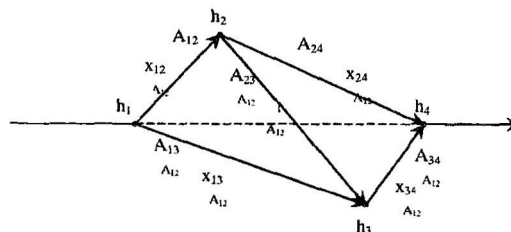


Рис. 2. Сільовий граф процесу застосування сил об'єктових формувань цивільної оборони за діями на об'єктах

Очевидно, обсяг a_{ki} буде виконаний ресурсом x_{ki} , що має продуктивність a_{ki} , за деякий час τ_{ki} , який визначається інтегральним рівнянням

$$A_{ki} = \int_0^{\tau_{ki}} a_{ki}(x_{ki}, t) dt. \quad (5)$$

Якщо вважати, що $a_{ki}(x_{ki}, t) \approx a_{ki}(t)x_{ki}$, то вираз (5) буде мати вигляд:

$$A_{ki} \approx a_{ki}(1)x_{ki}\tau_{ki}, \quad (6)$$

де $a_{ki}(1)$ — нормативна продуктивність однієї р.о.

Приведемо вираз (6) до вигляду:

$$a_{ki} = \frac{A_{ki}}{a_{ki}(1)} \equiv (x_{ki}\tau_{ki}). \quad (7)$$

Отже, трудомісткість заходу a_{ki} має дорівнювати трудовитратам (x_{ki}, τ_{ki}) щодо виконання завдання.

Очевидно, для даного виду роботи (з обсягом A_j) продуктивність однієї р.о. $a_{ki}(1)$ буде “нормативною”, тобто константою. Тоді при виконанні j -го заходу буде справедливою залежність між потрібним складом р.о. ресурсів та часом виконання роботи, як це видно з формули (7):

$$x_{ki} = \frac{a_{ki}}{\tau_{ki}}; \quad (8)$$

$$\tau_{ki} = \frac{a_{ki}}{x_{ki}}; \quad (9)$$

Залежності (8), (9) є гіперболами з параметром a_{ki} . Але деякі методи “оптимізації” комплексу робіт (PERT) використовують приблизну (лінійну) залежність на малих інтервалах $\Delta x_{ki}, \Delta \tau_{ki}$.

Зрозуміло, що це припущення при значних кількостях ресурсів дає істотну помилку у планах розподілу ресурсів і знижує їх ефективність.

Потужність системи у застосуванні є темпом зростання системного ефекту:

$$bm(t) = \frac{dWS(t)}{dt} \approx \left(\frac{\Delta WS}{\Delta t} \right). \quad (10)$$

Середня потужність за час дій

$$BM = \frac{WS}{TS}.$$

Представимо вираз (10) у вигляді

$$b_m(t) = \frac{dWS(t)}{dt} = \left(\frac{\partial WS}{\partial r} \right) \left(\frac{dr}{dt} \right) = b(t)a(t),$$

де $b(t) = (\partial WS)/(\partial r)$ є продуктивністю ресурсів (засобів), які витрачаються при створенні системного ефекту, а $a(t) = (dr)/(dt)$ є продуктивністю ресурсів (сил), які створюють системний ефект.

Отже, накопичення системного ефекту у часі:

$$W(t) = \int_0^t b(t)a(t)dt,$$

а за час акту застосування —

$$WS = W(TS) = \int_0^{TS} b(t)a(t)dt.$$

Витрати потенціалу здатності за цей же час

$$RS = r(TS) = \int_0^{TS} a(t)dt, \quad (11)$$

бо саме темп витрачання ресурсів, що перетворюються у системний ефект — $a(t)$ — визначає ці втрати. Очевидно,

$$a(t) \equiv a(t)(NS),$$

де $a(1)$ — нормативна продуктивність однієї р.о. сил NS .

Тоді вираз (11) набуде вигляду

$$RS = \int_0^{TS} a(t)NS dt \approx a(1)(NS \cdot TS).$$

Очевидно, на RS зменшиться потенціал здатності за час TS :

$$BS(t = TS) = BS(t = 0) - \int_0^{TS} a(t)dt = BS(t = 0) - RS(t = TS).$$

Тут $BS(t = NS)$ — решта потенціалу здатності після акту застосування. Ефективність застосування сил об'єктових формувань цивільної оборони за діями на об'єктах в акті застосування становитиме

$$ES = \frac{WS}{RS} = \frac{WS}{a(1)(NS \cdot TS)}. \quad (12)$$

У виразі (12) ефект WS визначений рівнем "захисту" (відвернених збитків) сил $WS_{потр}$, час застосування $TS_{дир}$ визначається планом дій сил — об'єкта захисту, $a(1)$ — нормативна продуктивність однієї р.о. сил об'єктових формувань цивільної оборони у створенні ефекту, яку можна не враховувати серед змінних показників.

Блок-схему алгоритму методики визначення оптимальної сил цивільної оборони при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації наведено на рис. 3.

Вихідними даними задачі оптимізації складу сил цивільної оборони є:

- n — кількість об'єктів застосування;
- m — кількість сил цивільної оборони;

$$XS = \left\| x_{ij} \right\|_{mn} \quad \text{— матриця розподілу сил цивільної оборони по завданнях};$$

$$SS = \left\| s_{ij} \right\|_{mn} \quad \text{— матриця плану дій (сценарію), вектор-стовпчик якої } S_j \text{ дає сукупність заходів (дій) сил, що являють собою процес виконання завдання.}$$

Як наявну інформацію в даній методиці взято:

кількісний (ОПШ) та якісний склад (укомплектованість особовим складом і технікою, підготовленість особового складу, штабів) сил і засобів об'єктових формувань цивільної оборони;

кількісний (ОПШ) та якісний склад (укомплектованість особовим складом і технікою, підготовленість

особового складу, командирів і штабів) сил і засобів частини, підрозділу МНС;

характеристика типових об'єктів захисту (за призначенням, характером діяльності);

потрібні (задані) рівні захисту об'єктів від РХБ зараження при застосуванні ЗМУ, зброї на нових фізичних принципах дії і зруйнування РХБ небезпечних об'єктів.

У першому блоці формулюються вхідні дані із усвідомлення завдання силам об'єктових формувань цивільної оборони за рівнем захисту сил та об'єктів $WS_{порт}$, за об'єктами та термінами виконання завдання $TS_{дир}$, за складом сил і взаємодії $NS_{наав}$.

У другому блоці формулюються вхідні дані з оцінки обстановки (дані про РХБ обстановку, місцевість і погоду в районі виконання завдання):

кількість типових об'єктів, які потребують виконання завдань і заходів щодо ведення рятувальних і інших невідкладних робіт в їх інтересах;

можливості об'єктових формувань цивільної оборони (штатних і доданих) у виконанні завдань і заходів за призначенням;

фактична або прогнозована РХБ обстановка у районі виконання завдань;

фізико-географічні, кліматичні і метеорологічні умови району виконання завдань.

У третьому блоці зазначаються: визначені завдання і заходи щодо ведення рятувальних і інших невідкладних робіт та їх обсяг; розподіл сил і засобів згідно з визначеними завданнями і заходами (по типових об'єктах виконання завдань); постановка завдань підрозділам об'єктових формувань цивільної оборони з виконання завдань і заходів щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

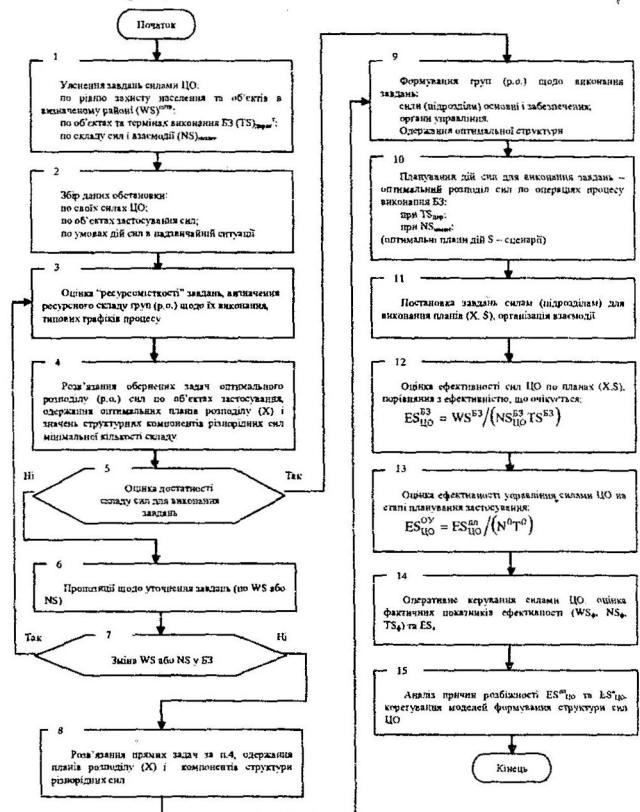


Рис. 3. Блок-схема алгоритму методики визначення оптимальної структури сил цивільної оборони при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації

У четвертому блоці розв'язанням обернених задач оптимального розподілу р.о. сил об'єктових формувань цивільної оборони по об'єктах застосування визначаються оптимальні плани розподілу та мінімальний їх склад.

У п'ятому блоці проводиться оцінка достатності складу сил об'єктових формувань цивільної оборони для виконання завдання з потрібним рівнем захисту ($NS_{\min} \leq NS_{\text{ошс}}$ при $WS_{\text{потр}} \geq 0,6\dots 0,8$).

У шостому блоці готуються пропозиції у вищий орган управління щодо уточнення завдання. Вищий орган управління повинен зробити поступку стосовно рівня завдання або складу сил для його вирішення або одночасно за двома даними показниками.

У сьомому блоці вирішується додаткова задача про поступки:

або зменшити $WS_{\text{потр}}$ до $WS_{\text{мак}}$ (поступка щодо ефекту — ΔWS);

або збільшити $NS_{\text{ошс}}$ до NS_{\min} (поступка щодо складу сил — ΔNS);

або частково зменшити $WS_{\text{потр}}$ і збільшити $NS_{\text{ошс}}$ одночасно для забезпечення виконання завдання.

У восьмому блоці проводиться розв'язання прямих задач за блоком 4, отримуються оптимальні плани розподілу (X) і компоненти структури різнорідних сил об'єктових формувань цивільної оборони.

У дев'ятому блоці проводиться формування груп (р.о.) оптимальної структури щодо виконання завдань ліквідації наслідків надзвичайної ситуації (сили (підрозділи) об'єктових формувань цивільної оборони, органи управління).

У десятому блоці проводиться планування дій сил об'єктових формувань цивільної оборони для виконання завдань ліквідації наслідків надзвичайної ситуації по операціях процесу виконання цих завдань при $TS_{\text{дир}}$, $NS_{\text{нааб}}$ згідно з оптимальним планом дій S.

В одинадцятому блоці ставляться завдання силам об'єктових формувань цивільної оборони згідно з отриманими оптимальними планами розподілу (X,S), організується взаємодія між собою та силами МНС.

У дванадцятому блоці проводиться оцінка ефективності ліквідації наслідків надзвичайної ситуації за

планами (X,S) та оцінка ефективності організаційного управління силами об'єктових формувань цивільної оборони на етапі планування їх застосування.

У тринадцятому блоці в процесі оперативного управління проводиться оцінка фактичних показників ефективності та ефективності ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

У чотирнадцятому блоці проводиться порівняння отриманого результату (фактичної ефективності) з потрібним рівнем ефективності (плановим) системи цивільної оборони, заміна вихідних даних і проведення повторних розрахунків при невідповідності умов. Визначення висновків щодо ступеня відповідності функціонування даної системи покладеним на неї вимогам.

Оптимальне розв'язання прямої задачі скорочує тривалість процесу на 10 — 30%, а оберненої — на 10 — 30% кількість р.о. складу ресурсів. Розглянуті задачі стосуються "спеціалізованих" ресурсів, призначених для застосування в одному відповідному заході процесу. Але підвищення кількості спеціалізацій р.о. (її універсальності) дозволяє значно скоротити склад ресурсів для процесу, тобто досягти їх максимальної інтенсифікації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. — М.: Сов. радио, 1974. — 304 с.
2. Городнов В.П. Высшая математика (в популярном изложении): Учеб. пособие для студ. экон. спец. — Х.: Изд-во НУА, 2004. — 384 с.
3. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 509 с.
4. Гринин А.С., Новиков В.Н. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях. — М.: Гранд, 2000. — 327 с.
5. Кофман А., Дебазей Г. Сетевые методы планирования и их применение. — М.: Прогресс, 1968. — 180 с.

Надійшла до редколегії 00.00.06 р.