

# Обґрунтування раціонального розподілу пунктів спеціальної обробки на маршрутах руху в разі зруйнування об'єкту атомної енергетики

## Rationale for the rational distribution of special processing points on traffic routes in the event of the destruction of a nuclear power facility

**Анатолій Нікітін \* 1<sup>A</sup>**

\*Corresponding author: доктор філософії, доцент кафедри, e-mail: tolik-nikitin@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7245-1797

**Олег Воробйов 2<sup>A</sup>**

д.т.н., професор, професор кафедри, e-mail: oleg33377@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5362-1976

**Андрій Парталян 3<sup>B</sup>**

к.т.н., заступник начальника відділу, e-mail: partandrej@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7149-8975

**Тимур Куртсеітов 4<sup>A</sup>**

д.т.н., професор, начальник кафедри, e-mail: kurttimur@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6478-6469

**Валентин Романюк 5<sup>A</sup>**

к.т.н., професор кафедри, e-mail: r.valya@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7767-2268

**Олександр Іващук 6<sup>A</sup>**

доктор філософії, старший викладач кафедри, e-mail: sashik-ivashchuk84@ukr.net, ORCID:0000-0002-8189-6472

**Anatolii Nikitin \* 1<sup>A</sup>**

\*Corresponding author: Doctor of Philosophy, associate professor of the department, e-mail: tolik-nikitin@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7245-1797

**Oleh Vorobiov 2<sup>A</sup>**

Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the department, e-mail: oleg33377@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5362-1976

**Andrii Partalian 3<sup>B</sup>**

candidate of technical sciences, deputy head of the department, e-mail: partandrej@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7149-8975

**Tymur Kurtseitov 4<sup>A</sup>**

Doctor of Technical Sciences, Professor, the head of the department, e-mail: kurttimur@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6478-6469

**Valentyn Romaniuk 5<sup>A</sup>**

candidate of technical sciences, professor of the department, e-mail: r.valya@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7767-2268

**Oleksandr Ivashchuk 6<sup>A</sup>**

Doctor of Philosophy, senior lecturer of the department, e-mail: sashik-ivashchuk84@ukr.net, ORCID:0000-0002-8189-6472

<sup>A</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ, Україна

<sup>B</sup> Управління екологічної безпеки та протимінної діяльності, м. Київ, Україна

<sup>A</sup> NationalDefenseUniversityofUkrainenamedafterIvanCherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

<sup>B</sup> Department of Environmental Safety and Mine Action, Kyiv, Ukraine

Received: August 7, 2022 | Revised: August 26, 2022 | Accepted: August 31, 2022

DOI: 10.33445/sds.2022.12.4.12

**Мета роботи:** визначення раціонального розподілу пунктів спеціальної обробки на маршрутах руху населення та техніки у разі зруйнування об'єкту атомної енергетики із врахуванням ступеня завантаження шляхів переміщення зараженої техніки та населення з районів можливого радіаційного зараження.

**Дизайн/Метод:** метод максимального елементу.

**Результати дослідження:** методика розрахунку раціонального розподілу пунктів спеціальної обробки на маршрутах руху населення та техніки у разі зруйнування об'єкту атомної енергетики.

**Теоретична цінність дослідження:** основними результатами досліджень за тематикою статті є методика розрахунку раціонального розподілу пунктів спеціальної обробки на маршрутах руху населення та техніки у разі зруйнування об'єкту атомної енергетики.

**Тип статті:** описовий та розрахунково-аналітичний.

**Ключові слова:** спеціальна обробка, радіаційний, хімічний, біологічний захист, метод максимального елементу, радіаційне зараження.

**Purpose:** determining the rational distribution of special processing points on the routes of movement of the population and equipment in the event of destruction of the nuclear power facility, taking into account the degree of loading of the routes of movement of contaminated equipment and the population from areas of possible radiation contamination.

**Design/Method/Approach:** the maximum element method.

**Findings:** the method of calculating the rational distribution of special processing points on the routes of movement of the population and equipment in the event of the destruction of the nuclear power facility.

**Theoretical implications:** the main results of research on the topic of the article are the method of calculating the rational distribution of special treatment points on the routes of movement of the population and equipment in the event of the destruction of the nuclear power plant.

**Papertype:** descriptive and calculation-analytical.

**Keywords:** special treatment, radiation, chemical, biological protection, maximum element method, radiation contamination.

## 1. Вступ

Запорізька атомна електростанція найбільша атомна станція в Європі, з 4 березня захоплена російськими військовими, відтоді на майданчику станції загарбники розміщують військову техніку та боєприпаси, а також обстрілюють прилеглу територію. МАГАТЕ 6 вересня представило звіт за результатами інспекції ЗАЕС. У документі зафіксовано випадки розміщення російської військової техніки на території Запорізької АЕС, зокрема у машинних залах енергоблоків [1].

Запорізька АЕС працює з ризиком порушення норм радіаційної та пожежної безпеки. Це єдина АЕС в Україні на якій запроваджено систему сухого зберігання відпрацьованого ядерного палива (СВЯП) для реакторів типу ВВЕР-1000. Комплекс СВЯП Запорізької АЕС розрахований на 380 вентильованих контейнерів зберігання, в яких можна розмістити понад 9000 відпрацьованих тепловидільних елементів. На сьогоднішній день на майданчику СВЯП встановлено 174 контейнера.

ЗАЕС під'єднана до електромережі за допомогою повітряних ліній електропередач. В наслідок ведення бойових дій з 24.02.2022 по теперішній час із всіх ліній відновлено роботу лише однієї.

В умовах, коли всі енергоблоки ЗАЕС переведені у стан "холодний зупин", поновлена лінія є джерелом електроживлення власних потреб станції – охолодження ядерного палива.

Ядерний реактор у безпечному стані заглушений при низькому тиску і низькій температурі охолоджуючої води. У стані холодного стану, енергоблок має більший запас часу, впродовж якого персонал може ліквідувати надзвичайну ситуацію, якщо така раптом виникне, та запобігати важкому пошкодженню активної зони реактора. Але у випадку знеструмлення останньої повітряної лінії електропередачі відбудеться вмикання аварійних дизель-генераторів. У разі відключення (аварійне відключення) дизель-генераторів наслідком якого є втрата живлення циркуляційних насосів, це призведе до припинення охолодження активної зони реактора. Внаслідок цього виникнуть ядерні розплави, водневі вибухи та викиди радіоактивних речовин в атмосферу.

Основними та найбільш ефективними невідкладними контрзаходами на початковій фазі аварії є [2]:

- укриття особового складу та населення в будинках чи спеціальних спорудах для запобігання дозам зовнішнього та внутрішнього опромінення;
- тимчасова евакуація до можливого проведення реєвакуації;
- негайна йодна профілактика;
- обмежене перебування на відкритому повітрі.

## 2. Теоретичні основи дослідження

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанню раціонального розподілу обмеженого ресурсу присвячена велика кількість праць, серед яких є такі як [3-8]. При цьому, в [3-5] більш повно розглянуті градієнтні методи оптимізації. Методи лінійного програмування розглядалися в [6, 7]. Але розглянуті в [6, 7] підходи не дозволяють в повній мірі врахувати різну пріоритетність об'єктів забезпечення. В цілому ні в одній із праць [3-8] в прямій постановці за мету не ставилось вирішення прикладної задачі раціонального розподілу підрозділів. Тому така задача із врахуванням вищезазначених умов формалізована не була.

На підґрунті проведеного аналізу розглянуто методичний підхід та наведений приклад використання методу максимального елемента для визначення раціонального розподілу пунктів спеціальної обробки на маршрутах руху населення в разі зруйнування об'єкту атомної енергетики. Метод максимального елемента відноситься до градієнтних

методів. Основна його перевага в тому, що рішення задачі з великою кількістю змінних приведене до послідовного рішення багатьох задач з однією змінною. Метод максимального елемента дозволяє за умов наявності ресурсних і часових обмежень раціонально розподілити наявний ресурс сил та засобів або визначити раціональний склад їх угруповання. На прикладі проведених розрахунків здійснюється розподіл рівно ефективних підрозділів радіаційного, хімічного, біологічного захисту для ліквідації радіоактивного зараження населення та техніки, щоб максимально виконати поставлене завдання. Слід зазначити, що використання методу максимального елемента дозволить підвищити якість рішень, що приймаються, стосовно раціонального розподілу пунктів спеціальної обробки на маршрутах руху за рахунок врахування навантаження шляхів переміщення мешканців із заражених районів. Напрямок подальших досліджень є уточнення раціонального розподілу сил і засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту для виконання завдань з підтримки в районах можливих аварій на об'єктах атомної промисловості.

### **3. Постановка проблеми**

Розповсюдження радіоактивної хмари буде відбуватися в залежності від метеорологічних умов, відповідно будуть утворюватися зони радіоактивного зараження місцевості.

За досвідом ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС велика кількість техніки, високий рівень її зараження, ускладнення дезактивації в період 1986-1991 р.р. змусили розгорнути силами підрозділів РХБ захисту цілу систему пунктів спеціальної обробки (ПуСО).

Одним із самих складних питань під час планування виконання завдань щодо дезактивації об'єктів інфраструктури було оперативне та якісне обґрунтування раціонального складу угруповання сил і засобів та його розподіл. При цьому відмічалася нерівномірність термінів виконання запланованих обсягів завдань на об'єктах різного значення.

Однією із причин нерівномірності очікуваних термінів виконання запланованих завдань був нераціональний розподіл наявного ресурсу сил і засобів для ліквідації радіоактивного зараження. Вирішення виявленої невідповідності у практиці стає можливим за рахунок застосування оптимізаційних методів прийняття рішення, які застосовувались для дослідження різномірних проблемних питань.

### **4. Результати**

Для раціонального розподілу обмеженого ресурсу пропонується використовувати градієнтні методи оптимізації. Зокрема, використання методу максимального елемента, висвітленню сутності та прикладного характеру якого присвячена стаття.

Метод максимального елемента відноситься до градієнтних методів [8]. Основна його перевага в тому, що рішення задачі з великою кількістю змінних ( $n$ ) приведене до послідовного рішення  $n$  задач з однією змінною. Метод максимального елемента дозволяє за умов наявності ресурсних і часових обмежень раціонально розподілити наявний ресурс сил та засобів РХБ захисту або визначити раціональний склад їх угруповання.

Вихідними даними для проведення розрахунків є: потрібні обсяги (темп, терміни) виконання завдань; наявна кількість сил і засобів для проведення дезактивації техніки та санітарної обробки населення; обмеження фронту робіт; пріоритетність маршрутів руху зараженої техніки та населення з районів можливого радіаційного зараження.

Задача пов'язана з визначенням оптимального розподілу обмеженого ресурсу (підрозділів, розрахунків, засобів) на виконання завдань ліквідації наслідків радіаційного зараження.

Потрібно знайти такий розподіл ПуСО по маршрутах руху, при якому успіх виконання завдань в цілому буде максимальним. Блок-схема послідовності рішення задачі згідно методу

максимального елемента подана на рис. 1.

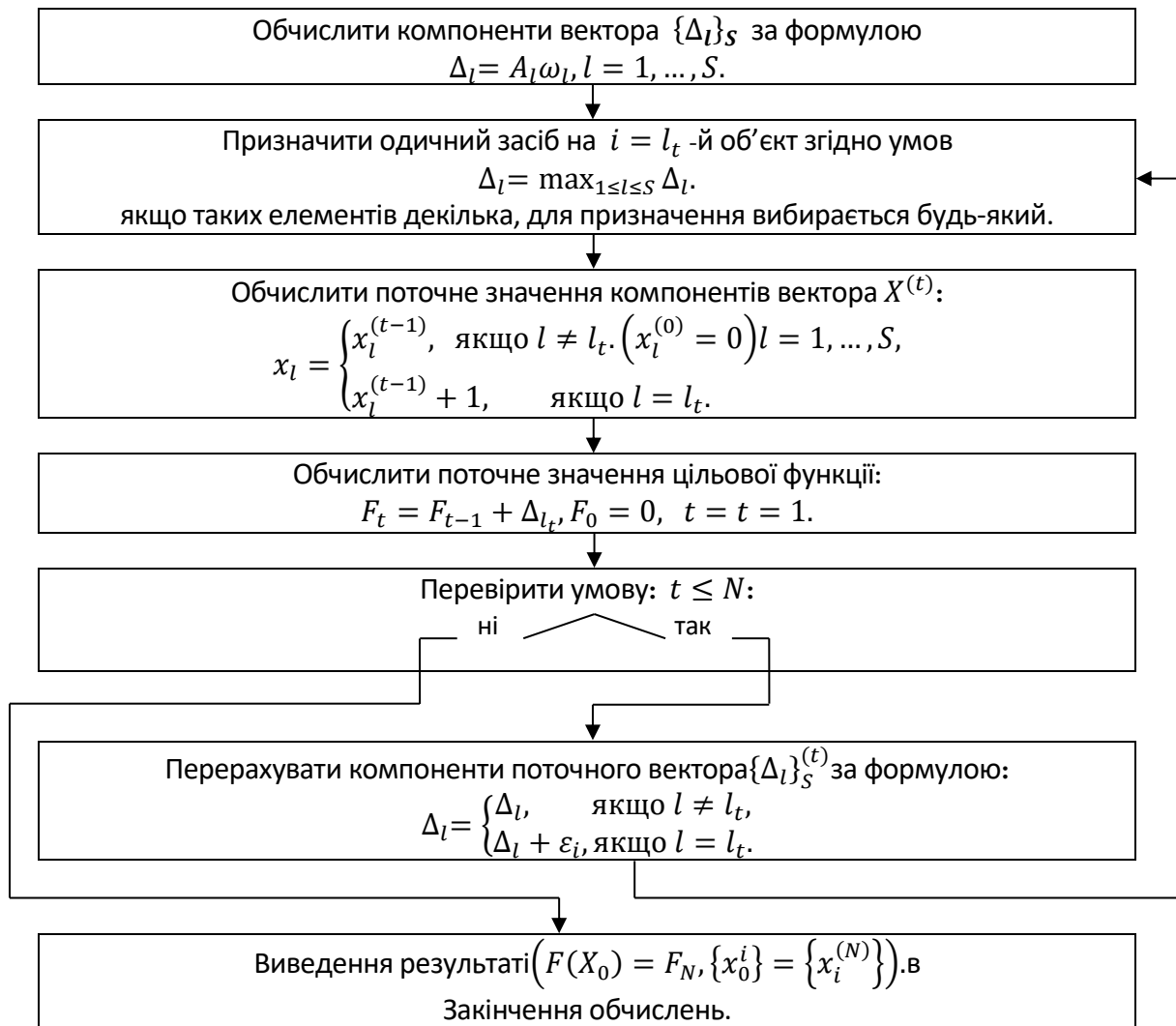


Рисунок 1 – Блок-схема послідовності рішення задачі згідно методу максимального елемента

У відповідності до методу на кожному довільному кроці процесу оптимізації здійснюється розподіл тільки однієї одиниці дискретного ресурсу [8]. Це означає, що на кожному  $t$ -му кроці ітерації ( $t = 1, \dots, d$ ) надається одиничне прирощення ( $\Delta X_i = 1$ ) тільки одній,  $i$ -тій змінній оптимального вектора  $X_0 = \{x_i^0\}_n$ , що являє собою варіант розподілу однотипного ресурсу між  $n$  споживачами. Після кінцевої кількості кроків  $d$ , яка дорівнює кількості одиниць ресурсу  $n$ , весь ресурс оптимально розподіляється між споживачами.

У загальному випадку постановку задачі за даними [8] можна сформулювати наступним чином: необхідно знайти оптимальний вектор  $X_0 = \{x_i^0\}_n$ , який спрямовує у максимум цільову функцію:

$$F(X) = \sum_{i=1}^S F_i(x_i) = \sum_{i=1}^S A_i(1 - \varepsilon_i^{x_i}) \quad (1)$$

при лінійних обмеженнях на його компоненти

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq N \quad (2)$$

та додаткових умовах:

$$\left. \begin{array}{l} x_i \in \{0, 1, \dots, N \\ 0 \leq (\varepsilon_i = 1 - \omega_i) \leq 1, \\ A_i > 0 \end{array} \right\} i = 1, \dots, S. \quad (3)$$

$$F(X) = \sum_{i=1}^S A_i \varepsilon_i^{x_i} \quad (4)$$

Постановку задачі, що може бути вирішена методом максимального елемента, для вирішення завдань силами підрозділів призначених для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій має наступний вигляд. Є  $N$  однотипних активних одиниць сил і засобів для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Кожний з них при виконанні завдання на  $i$ -му ( $i = 1, \dots, S$ ) об'єкті, що має відносну важливість (ваговий коефіцієнт)  $A_i$ , забезпечує його в оперативному та бойовому відношенні з імовірністю  $\omega_i = 1 - \varepsilon_i$ . Необхідно знайти такий розподіл активних сил і засобів для ліквідації наслідків за об'єктами надзвичайних ситуацій, при якому сумарний ефект (сумарні обсяги, темп виконання завдання) буде максимальним. При цьому  $\omega_i$  можна інтерпретувати як відносну потребу та визначати як:

$$\omega_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^S W_i} = \frac{T_i}{\sum_{i=1}^S T_i} = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^S V_i} \quad (5)$$

де:  $W_i$  – потрібні обсяги завдання на  $i$ -му об'єкті забезпечення;

$T_i$  – потрібний час на виконання завдання на  $i$ -му об'єкті забезпечення;

$V_i$  – потрібний темп виконання завдання на  $i$ -му об'єкті забезпечення;

$S$  – загальна кількість об'єктів, які потребують забезпечення в оперативному та бойовому відношенні.

Після розкриття дужок у (1) отримуємо:

$$F(X_0) = \max_X F(X) = \sum_{i=1}^S A_i - \min_X \sum_{i=1}^S A_i \varepsilon_i^{x_i} \sim \min_X \sum_{i=1}^S A_i \varepsilon_i^{x_i} \quad (6)$$

Тобто, задача максимізації функції (1) еквівалентна задачі мінімізації функції.

Максимізація загального ефекту  $F(X)$  еквівалентна максимізації величини середнього значення із розрахунку на один з  $N$  засобів, тобто середній ефект (7) із розрахунку на один з  $N$  засобів  $v(X)$  будуть максимальними, якщо на кожному кроці процесу призначати одне з активних засобів за тим об'єктом забезпечення  $i$ , де приріст втрат на даному кроці ( $\Delta_i$ ) максимальний.

$$\max_X F(X) \sim \max_X \left\{ \frac{F(X)}{N} = v(X) \right\} \quad (7)$$

Такий алгоритм розподілу засобів за об'єктами для досягнення максимуму ефекту можна вважати виправданим, оскільки кожна з функцій  $F_i(x_i)$  опукла вгору і складає убутну послідовність приросту ефекту ( $\Delta_i$ ) від впливу кожного наступного засобу (8) тому допускає розподіл засобів однаковими мінімальними (одичними) порціями з однієї сторони, і через однотипність засобів не вимагається взаємна заміна будь-яких двох їх одиниць.

$$F_i(x_i) = A_i(1 - \varepsilon_i^{x_i}) = A_i\omega_i + A_i\varepsilon_i\omega_i + \dots + A_i\varepsilon_i^{x_i-1}\omega_i = \Delta_{1i} + \Delta_{2i} + \dots + \Delta_{x_i i} = \sum_{k=1}^{x_i} \Delta_{ki}, \quad (8)$$

$$\Delta_{ki} = A_i\varepsilon_i^{k-1}\omega_i.$$

Після висвітлення підходу до рішення задачі залишається визначити вираз для обчислення величини приросту  $\Delta_l$  цільової функції, який вона отримує на довільному ( $t$ -му) кроці процесу оптимізації. До моменту призначення  $t$ -ї одиниці засобів на  $t$ -му кроці процесу уже було розподілено  $(t - 1)$  одиниць і  $i$ -й об'єкт забезпечення з деякою імовірністю  $P_i^{(t-1)}$  ( $i = 1, \dots, S$ ), тобто на цей момент значення цільової функції можна записати як:

$$F_{t-1} = \sum_{i=1}^S A_i P_i^{(t-1)} \quad (9)$$

Після призначення  $t$ -ї одиниці засобів по  $l$ -му об'єкту ( $l=1, \dots, S$ ), поточне значення цільової функції збільшиться тільки за рахунок збільшення ефекту  $l$ -м об'єктом і буде становити:

$$F_{t-1} = \sum_{i=1}^S A_i P_i^{(t-1)} + A_l(1 - Q_l^{(t-1)}\varepsilon_l), \quad (10)$$

де:  $Q_l^{(t-1)} = 1 - P_l^{(t-1)}$  – імовірність не забезпечення в оперативному та бойовому відношенні  $l$ -го об'єкта до призначення  $t$ -го засобу;  
 $\varepsilon_l = 1 - \omega_l$  – умовна імовірність його не забезпечення в оперативному та бойовому відношенні  $t$ -м засобом.

Прибавляючи і віднімаючи від правої частини формули (10) член  $A_l P_l^{(t-1)}$  і враховуючи (9), отримаємо:

$$F_t = F_{t-1} + A_l(1 - Q_l^{(t-1)}\varepsilon_l) - A_l P_l^{(t-1)}. \quad (11)$$

Шуканий приріст після елементарних перетворень запишеться як

$$\Delta_l = F_t - F_{t-1} = A_l Q_l^{(t-1)}\omega_l = A_l^{(t-1)}\omega_l, \quad l = 1, \dots, S. \quad (12)$$

Якщо  $A_l$  – вихідний ваговий коефіцієнт об'єкта, то  $A_l^{(t-1)} = A_l Q_l^{(t-1)}$  – його вага після розподілу  $(t-1)$  одиниць засобів.

Для розподілу різноефективного ресурсу сил і засобів для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій із використанням запропонованої методу засоби для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій або підрозділи слід розбити на рівні за ефективністю (продуктивністю, можливостями) групи. Розподіляти ресурс по об'єктах забезпечення слід по групах. При цьому послідовність зміни груп повинна здійснюватись у бік зменшення ефективності (продуктивності, можливостей).

Можуть виникати ситуації, коли для усіх об'єктів надзвичайних ситуацій повинні бути виконанні обсяги завдання ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, не нижче допустимих, при обов'язковості максимізації цільової функції. Використання приведенного алгоритму у таких випадках дає можливість обґрунтувати необхідну кількість ресурсу сил і засобів для



ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій для досягнення мети. У такому випадку початкова кількість засобів (підрозділів) для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій  $l$  не обмежується і їх розподіл продовжується доти, поки сумарні обсяги завдань за усіма об'єктами надзвичайних ситуацій не будуть задовольняти вказаному обмеженню. Кількість засобів (підрозділів), що забезпечує досягнення мети, приймається рівним кількості кроків розподілу, тобто  $n = t$ .

Наведемо приклад проведення розрахунків. Як вихідні данні приймемо:  $\epsilon S = 4$  маршрути руху техніки з району можливого радіаційного зараження, на яких слід розгорнути ПуСО для дезактивації, важливість яких оцінюється відносними величинами, які залежать від щільності руху техніки і населення:  $A_i$  (значення наведені у табл.).

Необхідно так розподілити підрозділи батальйону РХБ захисту до складу якого входять  $n=9$  рівно ефективних підрозділів (взводів РХБ захисту) за маршрутами руху, щоб максимально виконати поставлене завдання з урахуванням важливості маршрутів. Імовірність відновлення об'єктів складає  $\omega_i$ . Результати рішення задачі наведені у таблиці 1.

На першому кроці значення прирощень ефекту  $\Delta_i$  обчислені як добуток  $A_i \omega_i$ . Максимальне прирощення ефекту на цьому кроці дає призначення підрозділу на 3-й об'єкт  $x_3 = 1$ ,  $\Delta_3 = 5,0$ ,  $F_1 = 5,0$ . На всі інші об'єкти на цьому кроці підрозділи не призначаються.

**Таблиця – Розподіл підрозділів батальйону РХБ захисту для максимального виконання поставленого завдання**

$t$	$i$				$F_t$
	1	2	3	4	
	$A_i$				
	4	8	10	3	
	$\omega_i$				
	0,5	0,5	0,5	0,5	
$\Delta_i/x_i$					
1	2,0 / 0	4,0 / 0	<b>5,0 / 1</b>	1,5 / 0	5,0
2	2,0 / 0	<b>4,0 / 1</b>	2,5 / 0	1,5 / 0	9,0
3	2,0 / 0	2,0 / 0	<b>2,5 / 1</b>	0,5 / 0	11,5
4	<b>2,0 / 1</b>	2,0 / 0	1,25 / 0	0,5 / 0	13,5
5	1,0 / 0	<b>2,0 / 1</b>	1,25 / 0	0,5 / 0	15,5
6	1,0 / 0	1,0 / 0	1,25 / 0	<b>1,5 / 1</b>	17,0
7	1,0 / 0	1,0 / 0	<b>1,25 / 1</b>	0,75 / 0	18,25
8	<b>1,0 / 1</b>	1,0 / 0	0,625 / 0	0,75 / 0	19,25
9	0,5 / 0	<b>1,0 / 1</b>	0,625 / 0	0,75 / 0	20,25
$\sum \Delta_i / \sum x_i$	<b>75 / 2</b>	<b>87,5 / 3</b>	<b>87,5 / 3</b>	<b>50 / 1</b>	<b>20,25</b>

На другому кроці значення прирощень ефекту для усіх об'єктів, окрім третього, залишаються такими ж (на першому кроці змін вони не набули), а при визначенні прирощення ефекту для третього об'єкту враховується умовне виконання потрібних обсягів завдань одним підрозділом, призначеним на першому кроці, тобто  $\Delta_3 = A_3(1 - \omega_3)\omega_3$ . Максимальне прирощення ефекту на другому кроці дає призначення підрозділу на другий об'єкт ( $x_2 = 1$ ,  $\Delta_2 = 4,0$ ). Значення цільової функції при цьому складе  $F_2 = F_1 + \Delta_2 = 5,0 + 4,0 = 9,0$ .

Продовжуючи виконувати таким чином послідовний розподіл підрозділів за об'єктами забезпечення до  $t = 9$ , отримаємо результат рішення задачі за методом максимального елемента. У таблиці 1 на кожному кроці жирним шрифтом виділені елементи, які приймаються до уваги при розподілі ПуСО. У останньому рядку таблиці

приведені сумарні ефект за кожний об'єкт і сумарна кількість  $\text{PuCO}$ , призначених за цими об'єктами. Для об'єктів забезпечення, на які підрозділи не призначалися, сумарний ефект дорівнює нулю.

Як висновок наведеного прикладу можна сказати, що максимальне значення цільової функції при розподілі семи підрозділів складе  $F_g = 20,25$ . При цьому підрозділи за об'єктами забезпечення будуть розподілені наступним чином:  $x_1 = 2, x_2 = 3, x_3 = 3, x_4 = 1$ .

## 5. Висновки

Як висновок слід зазначити, що використання методу максимального елемента дозволить підвищити якість рішень, що приймаються, стосовно проведення раціонального розподілу пунктів спеціальної обробки на маршрутах руху населення та техніки в разі зруйнування об'єкту атомної енергетики із врахуванням ступеня завантаження шляхів переміщення зараженої техніки та населення з районів можливого радіаційного зараження.

Напрямок подальших досліджень є уточнення раціонального складу сил і засобів для виконання завдань РХБ захисту у ході широкомасштабної збройної агресії РФ проти України.

## 6. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

## 7. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

### Список використаних джерел

1. Держатом зробив аналіз ризиків на ЗАЕС та передав результати МАГАТЕ 14.09.2022. [Електронний ресурс] – URL: <https://rubryka.com/2022/09/14/derzhatom-zrobyv-analiz-ryzykiv-na-zaes-ta-peredav-rezultaty-magate/>.
2. Лілія Ржеутська Чи стане Запорізька АЕС новим Чорнобилем? 10.08.2022. [Електронний ресурс] – URL: <https://www.dw.com/uk/ci-stane-zaporizka-aes-novim-cornobilem/a-62760334>.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М. Советское радио, 1972. – 552 с.
4. Юрков Б.Н. Исследование операций. – М. ВИА, 1990. – 528 с.
5. Аоки М. Введение в методы оптимизации. – М. Наука, 1977. – 344 с.
6. Полак Е. Численные методы оптимизации. Единый подход. – М. Мир, 1971. – 376 с.
7. Алексеев В. М. Оптимальное управление: учебное пособие // [В. М. Алексеев, В.

### References

1. Derzhatom conducted a risk analysis at the ZNPP and submitted the results to the IAEA on September 14, 2022. [Electronic resource] – Available from: <https://rubryka.com/2022/09/14/derzhatom-zrobyv-analiz-ryzykiv-na-zaes-ta-peredav-rezultaty-magate/>.
2. Lilia Rzhetska Will the Zaporizhzhia NPP become the new Chernobyl? 08/10/2022. [Electronic resource] – Available from: <https://www.dw.com/uk/ci-stane-zaporizka-aes-novim-cornobilem/a-62760334>.
3. Wentzel E. Operations research. Moscow: Soviet Radio, 1972. 552 p.
4. Yurkov B. Operations research. Moscow: VIA, 1990. 528 p.
5. Aoky M. Introduction to optimization techniques. Moscow: Nauka, 1977 344 p.
6. Polak E. Numerical optimization methods. A unified approach. Moscow. Mir, 1971. 376 p.
7. Alekseev, V., Tikhomirov, V., Fomin, S.



- М. Тихомиров, С. В. Фомин]. – М.: Наука, 1979. – 224 с.
8. Берзин Е. А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. – М. Советское радио, 1974. – 276 с.
- Optimal control: Tutorial. Moscow. Nauka, 1979. 224 p.
8. Bērziņa, E. The optimal allocation of resources and Components synthesis systems. Moscow. Soviet Radio, 1974. 276 p.