

Розробка математичних моделей розрахунку матеріальних резервів техніки сил цивільного захисту

Михайло Дівізінюк * ^{1 A}; Валерій Єлісєєв ^{2 B}; Володимир Мірненко ^{3 C};
Андрій Пруський ^{4 B}; Василь Тищенко ^{5 B}; Євген Власенко ^{6 B}

^A Інститут геохімії та навколишнього середовища НАН України, м. Київ, Україна

^B Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, м. Київ, Україна

^C Департамент військової освіти та науки Міністерства оборони України, м. Київ, Україна

Received: September 26, 2021 | **Revised:** October 12, 2021 | **Accepted:** October 30, 2021

DOI: 10.33445/sds.2021.11.5.7

Анотація

Розроблено математичні моделі розрахунку різних видів матеріального резерву техніки (об'єктів озброєння) сил цивільного захисту для забезпечення оперативного реагування на надзвичайні ситуації техногенного, природного, соціального та воєнного характеру. Новий науковий результат полягає в низці математичних моделей, що створені для підвищення ефективності функціонування техніки, підрозділів сил цивільного захисту при виконанні завдань з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, а також в цілому ефективності функціонування єдиної державної системи цивільного захисту. Показано, що для забезпечення ефективного функціонування підрозділів сил цивільного захисту при виконанні завдань з ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків на достатньому (заданому) рівні готовності з урахуванням наявності різних видів матеріальних резервів необхідно розробити моделі які б дозволяли визначити необхідні види та обсяги матеріальних резервів. Запропоновано та введено до розгляду поняття декількох видів матеріальних резервів, необхідних для забезпечення експлуатації та ремонту техніки та озброєння. Матеріальні резерви можуть утворюватися за окремими типами елементів на складах – складський, комплект матеріального резерву для окремого типу техніки чи озброєння на один об'єкт – об'єктовий або на групу однотипних об'єктів техніки – груповий. Складовими моделей розрахунку різних видів матеріальних резервів, що розглядається, є можливість раціонального визначення об'єму складського матеріального резерву для забезпечення запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків на достатньому рівні, раціонального визначення рівня одиночного матеріального резерву на достатньому рівні при мінімальній вартості, а також матеріального резерву групи однотипних об'єктів озброєння при заданому коефіцієнті забезпеченості при мінімальній вартості. Для оцінки впливу матеріальних резервів на ефективність функціонування підрозділів сил цивільного захисту при ліквідації НС та їх наслідків використано деякі показники надійності озброєння визначені у державному стандарті ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. В роботі приведено алгоритм дій при розрахунку різних видів матеріального резерву об'єктів озброєння сил цивільного захисту.

Ключові слова: сили цивільного захисту, матеріальні резерви, показники готовності, ймовірність, надзвичайна ситуація, математична модель розрахунку.

¹ * **Corresponding author:** д.ф.-м., професор, завідувач відділом, e-mail: divizinyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5657-2302

² к.т.н., доцент, викладач кафедри, e-mail: elisev1941@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2427-0860

³ д.т.н., професор, Заслужений працівник освіти України, директор департаменту, e-mail: mirnenkovi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7484-1035

⁴ д.т.н. доцент, начальник кафедри, e-mail: prusskiy@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9132-7070

⁵ к.н. держ.упр. доцент, доцент кафедри, e-mail: tva_5555@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7505-1599

⁶ старший викладач кафедри, e-mail: geniy20091@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9619-1504

Постановка проблеми

Проведення робіт з порятунку і надання допомоги постраждалому населенню та відновлення зруйнованих об'єктів вимагає наявності значної кількості спеціальної техніки, матеріалів, палива, фахівців та ін. Тривалість проведення різного виду робіт залежить від достатнього запасу матеріального резерву, що використовується при виконанні робіт, та визначає час ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) та її наслідків, тим самим впливає на кількість людських жертв і об'єм матеріальних втрат від НС.

В главі 21 статті 98 Кодексу цивільного захисту України вказано що матеріальні резерви для запобігання і ліквідації наслідків НС створюються центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту (оперативний матеріальний резерв), іншими центральними органами виконавчої влади (відомчий матеріальний резерв), місцевими державними адміністраціями, органами місцевого самоврядування (регіональний та місцевий матеріальні резерви) та суб'єктами господарювання (об'єктовий матеріальний резерв).

Матеріальний резерв це запас будівельних і пально-мастильних матеріалів, лікарських засобів та виробів медичного призначення, продовольства, техніки, технічних засобів та інших матеріальних цінностей, призначених для запобігання і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, надання допомоги постраждалому населенню, проведення невідкладних відновлювальних робіт і заходів.

Для забезпечення ефективного функціонування техніки та озброєння підрозділів сил цивільного захисту при виконанні завдань з ліквідації НС та їх наслідків на достатньому (заданому) рівні готовності з урахуванням наявності різних видів матеріальних резервів необхідно розробити моделі які б дозволяли визначити необхідні види та обсяги матеріальних

резервів.

Матеріальні резерви (МР) можуть утворюватися за окремими типами елементів на складах – складський (МР-С), комплект матеріального резерву для окремого типу техніки чи озброєння на один об'єкт – об'єктовий (МР-О) або на групу однотипних об'єктів техніки – груповий (МР-Г).

Для оцінки впливу матеріальних резервів на ефективність функціонування підрозділів сил цивільного захисту при ліквідації НС та їх наслідків розглянемо деякі показники надійності озброєння підрозділів ОРС ЦЗ.

ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення рекомендує наступні показники оцінки готовності та працездатності об'єктів озброєння:

готовність – властивість об'єкта, бути здатним виконувати потрібні функції в заданих умовах у будь-який час чи протягом заданого інтервалу часу за умови забезпечення необхідними зовнішніми ресурсами;

працездатність – стан об'єкту, який характеризується його здатністю виконувати усі потрібні функції;

стаціонарний коефіцієнт готовності: K_r – значення коефіцієнта готовності визначене для умов роботи об'єкта коли середній параметр потоку відмов λ і середня тривалість відновлення μ залишаються сталими;

середній наробіток до відмови T_0 – математичне очікування наробітку об'єкта до першої відмови;

середня тривалість відновлення T_B – математичне очікування часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови.

Згідно з вимогами Кодексу цивільного захисту України, для координації дій органів державної влади та органів місцевого самоврядування, органів управління та сил цивільного захисту, а також організованого та планового виконання комплексу заходів та робіт з ліквідації наслідків НС, треба визначити потребу у силах цивільного

захисту, які залучаються до ліквідації наслідків НС.

Організація робіт з реагування на масштабні НС державного рівня (пандемії, пожежі на значних територіях, затоплення територій та ін.) та ліквідації їх наслідків потребує оперативного стратегічного планування ресурсного забезпечення яке є багатофакторною задачею, що базується на формальному фундаменті та використанні комплексу сучасних математичних методів системного аналізу, теорії ймовірностей, теорії оптимізації, теорії прийняття рішень.

Важливим інструментом підготовки сил

цивільного захисту до оперативного реагування на НС та ліквідації наслідків є стратегічне (завчасне) планування матеріальних резервів при побудові планів реагування на НС та створення на цій основі організаційно-розпорядчих документів щодо дій підрозділів сил цивільного захисту в разі загрози або виникнення НС.

Тому створення аналітичного апарату вирішення задачі оптимального розрахунку матеріальних резервів для забезпечення рятувальних операцій з реагування на можливу НС є частиною рішення цієї науково-практичної проблеми.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проведений аналіз наукових праць з питань формування матеріальних резервів для реагування на НС та ліквідації їх наслідків показав що загалом ці питання активно розглядаються світовою науковою спільнотою. На сьогодні створено певна наукова база із застосування математичних моделей та методів їх реалізації в різних аспектах реагування на НС [1–4].

Питання забезпечення заданої надійності при мінімальних витратах при розрахунках різних видів ресурсного забезпечення розглядається і в роботі [5], де модель розподілу ресурсів в певній аварійно-рятувальній мережі, інтегрує різні ресурси для поповнення в багаторівневу систему реагування на НС. Але залишається відкритим питання визначення матеріальних резервів для окремих видів озброєння і техніки сил цивільного захисту.

Отже, щоб постраждалі райони отримували термінову допомогу вчасно та точно після катастроф та стихійних лих, ефективне функціонування сил цивільного захисту та швидке реагування на нагальні потреби в постраждалих районах є дуже важливим. В роботі [6] на основі аналізу кількох стихійних лих, що сталися у Китаї, розроблений метод спільної оптимізації на базі застосування математичного апарату дискретних ланцюгів Маркова, що викликає

деякі складнощі при реалізації цього методу.

При управлінні надзвичайними ситуаціями, що стосується аварій із забрудненням, на ефективність аварійних рятувальних заходів може глибоко вплинути оптимальне віднесення наявних матеріальних резервів до відповідних джерел ризику. У дослідженні [7] розроблено двоступеневу структуру оптимізації для планування аварійних запасів матеріальних ресурсів в умовах невизначеності для визначення аварійних матеріальних резервів на етапі, що передуює аварії, для подолання потенційних екологічних аварій. Результати демонструють, що розроблена структура не тільки може полегшити вибір складу матеріалів, а й ефективно забезпечити екстрений матеріал для надзвичайних операцій у режимі швидкого реагування. Але мова не йде щодо матеріальних резервів озброєння сил цивільного захисту.

Оцінка можливостей постачання матеріальних резервів є дуже важливою для підвищення якості забезпечення надзвичайних ситуацій під час реагування на надзвичайні ситуації. У дослідженні [8] на основі аналізу попиту на матеріальні резерви було запропоновано методiku оцінки ресурсного забезпечення. Модель оцінки можливостей постачання матеріалів була розроблена з використанням методу аналізу

встановлених пар, і продемонстровано доцільність цієї моделі. Однак питання розробки матеріальних резервів об'єктів озброєння підрозділів сил цивільного захисту не розглянуто.

У дослідженні [9] автори розробили метод ажіотажного використання потрібних ресурсів (ADPs) на основі річних статистичних даних по запиту ресурсів даного типу. Об'єм ресурсу було визначено як співвідношення річного виробництва та запиту на експлуатацію. Однак виявилось що об'єм елементів розрахованих за допомогою ADP був неповними. Крім того, завжди щорічної зміні об'єму виробництва, можливо, доведеться розробляти нові процедури розрахунку. Тому неповне забезпечення ресурсними елементів може призвести до невиконання необхідних завдань. Використання пропонованого методу розрахунку неможливо для рішення завдань визначених у меті даного дослідження.

У статті [10] описується можливість застосування кластерного аналізу та програмного забезпечення при розгляді завдань оптимізації забезпечення матеріальними ресурсами. Дослідження результатів підтверджують придатність аналізу кластеризації для рішення завдань розрахунку резервів, транспортування резервів та оцінки завантаження при транспортуванні. Разом з тим у статті не розглядаються питання розрахунку різних видів матеріальних резервів для експлуатації техніки в умовах НС.

Окремим є питання створення теоретичних засад щодо спеціалізованого програмного забезпечення реалізації

запропонованих математичних моделей. В роботі [11] розглянуті технічні, організаційні характеристики та діапазони застосування спеціалізованих апаратно-програмних засобів з протидії поширення надзвичайних ситуацій природного характеру. Однак, залишається невирішеним питання можливості розповсюдження даного підходу на інші функціональні завдання.

У цій роботі [12] пропонується новий метод розрахунку матеріальних резервів шляхом поділу процесу на дві частини: класифікацію пропозицій та калькуляцію попиту. Наведено загальний метод класифікації запасів та уточнення контрольного списку переліку запасів для сценаріїв, що спричиняють різні катастрофи та багато природних явищ, а потім процедура розрахунку попиту для кожного типу запасів допомоги. Надано докладні переліки попиту на допомогу для різних типів та тяжкості НС. Але питання визначення резервів з урахуванням надійності та вартості не розглядаються.

Аналіз основних напрямів наукових досліджень показує, що на сьогодні критично мало робіт, присвячених предметній області даної роботи – розробці методу розрахунку різних видів матеріального резерву об'єктів озброєння сил цивільного захисту для забезпечення оперативного реагування на надзвичайні ситуації техногенного, природного, соціального та воєнного характеру.

Таким чином, невирішеною частиною проблеми, що розглядається, є відсутність науково-обґрунтованих методів формування матеріальних резервів для об'єктів озброєння сил цивільного захисту.

Постановка завдання

Метою дослідження є розробка математичних моделей розрахунку різних видів матеріального резерву об'єктів озброєння сил цивільного захисту для забезпечення оперативного реагування на надзвичайні ситуації техногенного, природного, соціального та воєнного

характеру.

Для забезпечення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробити математичну модель розрахунку складського матеріального резерву (МР-С) на основі використання показників оцінки готовності та

працездатності об'єктів озброєння.

2. Розробити математичну модель розрахунку об'єктового матеріального резерву **об'єкту пожежно-технічного озброєння** (МР-О) для забезпечення запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків на достатньому рівні

Виклад основного матеріалу

Метою розроблення математичної моделі розрахунку МР-С є можливість раціонального визначення об'єму матеріального резерву для забезпечення запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків на достатньому рівні.

Рівень достатності МР-С оцінюється індивідуально по кожному типу запасних елементів у резерві (наприклад: складові спец майна, елементи пожежно-технічного озброєння та ін.) з використанням коефіцієнта забезпеченості K_{oc} даним типом МР:

$$K_{oc_i}(x) = P_{di}(x) * 100\%, \quad (1)$$

де $P_{di}(x)$ — ймовірність достатності елементів i -го типу;

x – загальна кількість елементів у МР-С.

Група з довільного числа n працюючих елементів, включених по послідовної схеми надійності, маючих однакову та постійну інтенсивність відмов λ , має ймовірність безвідмовної роботи за час t рівної [13]

$$P(t) = e^{-n\lambda t} = e^{-a}, \quad (2)$$

де $a = n \lambda t$ – середнє число відмов у групі за час t .

Надаючи такий групі резерв із x елементів, можна збільшити ймовірність безвідмовної роботи до значення

$$P(x) = e^{-a} \sum_{i=1}^x \frac{a^i}{i!}, \quad (3)$$

Якщо в цій формулі час t зробити рівним періоду поповнення МР-С ($t = T_c$), то чисельно ймовірність $P(t)$ буде являти собою ймовірність того, що за час T_c число вимог на запасні елементи не перевищить числа x ,

при мінімальній вартості.

3. Розробити математичну модель розрахунку матеріального резерву групи однотипних об'єктів озброєння (МР-Г) при заданому коефіцієнті забезпеченості та мінімальній вартості групового матеріального резерву.

тобто ймовірність достатності x запасних елементів дорівнює $P_D(x)$

$$P_D(x) = e^{-a} \sum_{i=1}^x \frac{a^i}{i!}, \quad (4)$$

Ця формула використовується для розрахунку числа запасних елементів будь-якого типу в МР-С.

Порядок виконання розрахунку.

1. Визначаємо чисельне значення заданого коефіцієнта забезпеченості для елементів кожного типу $K_{oc}(x)$

2. Знаходимо середню витрату елементів кожного типу за період поповнення МР-С – a_i .

Якщо значення a_i безпосередньо не відомі, то їх варто визначити, підсумовуючи середню витрату елементів по кожному із k об'єктів

$$a_i = \sum_{j=1}^k a_{ij}, \quad (5)$$

де k — число об'єктів, у яких використовуються елементи i -го типу;

a_{ij} – середнє число відмов елементи i -го типу на j -му об'єкті.

У свою чергу, a_{ij} знаходиться по числу елементів цього типу в кожній із об'єктів, по витратам ресурсу систем (T_{pi}) за період поповнення МР-С (T_c) і інтенсивності замін елементів i -го типу (λ_{ij}) по формулі

$$a_{ij} = \lambda_{ij} n_{ij} T_{pi}, \quad (6)$$

У якості інтенсивності замін елементів варто використовувати їх інтенсивності відмов, якщо елементи відмовляють при зберіганні значно рідше, ніж при роботі, або ж величину, зворотну середньому наробітку до відмови T_{cpi} елементів

$$\lambda_i = \frac{1}{T_{cpi}}. \quad (7)$$

3. За заданим значенням K_{oci} визначаємо необхідну ймовірність достатності елементів i -го типу

$$P_{di}(a, x) = \frac{K_{oci}}{100}. \quad (8)$$

4. По ймовірності достатності $P_{d1}(a, x)$ і середній витраті елементів a_i визначаємо число запасних елементів i -го типу, при якому виконується умова

$$P_d(a = a_i, x = x_i - 1) \leq P_{di}(a, x) \leq P_d(a = a_i, x = x_i), \quad (9)$$

тобто число x_i знаходять як найменш можливе, при якому фактична ймовірність достатності виявляється не менш заданої.

5. Повторяємо дії по розрахунку ймовірності достатності та числа запасних елементів для 2-го, 3-го та наступних типів елементів матеріального резерву.

6. Визначаємо загальний об'єм складського матеріального резерву МР-С після розрахунків по усім типам елементів,

$$X_C = \sum_{i=1}^n x_i, \quad (10)$$

Представлена математична модель розрахунку складського матеріального резерву (МР-С) дозволяє визначити об'єму матеріального резерву для забезпечення реагування на НС та ліквідації їх наслідків на достатньому рівні.

Розробка математичної моделі розрахунку об'єктового матеріального резерву

Стационарний коефіцієнт готовності об'єкту озброєння при відновленні, згідно ДСТУ 2860-94, визначається по формулі

$$K_\Gamma = \frac{T_0}{T_0 + T_B}, \quad (11)$$

де T_0 – середній наробіток до відмови об'єкту;

T_B – середня тривалість відновлення працездатного стану об'єкту після відмов.

Час відновлення T_B зручно розділити на дві складові: час доставки резервного елемента T_d і час ремонту T_p – інтервал часу витрачений

на всі інші операції відновлення працездатності об'єкту. У такому випадку

$$T_B = T_p + T_d. \quad (12)$$

Що стосується часу доставки запасного елемента, то він є випадковою величиною й залежить в основному від організації служби постачання, віддалення об'єкту озброєння від складів матеріального резерву, засобів транспорту, а також, в деякій мірі, від типу елемента, що доставляється.

Для опису процесу роботи й відмов елементів приймемо експонентний закон надійності. Будучи найбільш простим, цей закон задовільно описує процес відмов більшості елементів, застосовуваних в техніці та озброєнні.

Для прийнятої моделі стаціонарний коефіцієнт готовності об'єкту визначається наступною формулою

$$K_\Gamma(x) = \frac{T_0}{T_0 + T_p + T_d \cdot P(x)}, \quad (13)$$

де $P(x)$ – імовірність простою об'єкту озброєння через нестачу резервних x елементів у комплекті МР об'єкту.

Випадок, коли $x = 0$ відповідає повній відсутності резервних елементів. При кожній відмові об'єкту, крім операцій з ремонту, доводиться витратити час на доставку резервного елемента зі складу. У такому випадку значення стаціонарного коефіцієнта готовності варто визначати по формулі

$$K_\Gamma(0) = \frac{T_0}{T_0 + T_p + T_d}, \quad (14)$$

В іншому випадку, коли на об'єкті є будь-які резервні елементи в необмеженій кількості (негайно задовольняються всі вимоги), на відновлення затрачається мінімальний час, обумовлений лише часом ремонту. Тоді значення стаціонарного коефіцієнта готовності варто визначати за формулою

$$K_\Gamma(\infty) = \frac{T_0}{T_0 + T_p}, \quad (15)$$

Для визначення імовірності $P(x)$ розглянемо математичну модель розрахунку

раціонального за вартістю матеріального резерву (МР) об'єкту пожежно-технічного озброєння.

Метою розроблення математичної моделі розрахунку **раціонального за вартістю матеріального резерву об'єкту пожежно-технічного озброєння (МР-О)** є можливість раціонального визначення рівня матеріального резерву для забезпечення запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків на достатньому рівні при мінімальній вартості.

Для розробки математичної моделі розрахунку МР-О визначимо кількісний критерій рівня достатності резерву.

Для МР-О, як критерій достатності, можна застосувати коефіцієнт забезпеченості об'єкту озброєння $K_{30}(x)$ при наявності у МР-О x елементів матеріального резерву:

$$K_{30}(x) = \frac{K_r(x) - K_r(0)}{K_r(\infty) - K_r(0)}, \quad (16)$$

де $K_r(x)$ – стаціонарний коефіцієнт готовності;

$K_r(0)$ – мінімальне значення стаціонарного коефіцієнта готовності об'єкту, що відповідає повній відсутності елементів у МР-О ($x = 0$);

$K_r(\infty)$ – максимальне значення стаціонарного коефіцієнта готовності об'єкту, що відповідає необмеженому резерву елементів усіх типів у МР-О.

Умови розрахунку МР-О наступні.

Об'єкт озброєння представлено послідовним з'єднанням робочих елементів, об'єднаних у m груп по числу типів по n_i елементів у кожній групі. Кожна група робочих елементів разом з x_i резервних елементів являє собою резервований ланцюг з ненавантаженим резервом.

Надійність робочих елементів характеризується постійною інтенсивністю замін λ_i і середнім часом відновлення об'єкту при відмові елемента i -го типу T_{Bi} .

Запасні елементи утворюють МР-О, який через період T_c , поповнюється до розрахункового рівня.

Якщо витрата запасних елементів протягом відрізка часу T_c перевищує їх

кількість в МР-О, то такий елемент потрібно доправити з найближчого складу. При цьому об'єкт виявляється в положенні простою, оцінюваного середнім часом доставки T_{Di} .

Для прийнятої моделі стаціонарний коефіцієнт готовності об'єкту визначається наступною формулою

$$K_r(x) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^m \Delta_i T_{Bi} + \sum_{i=1}^m \Delta_i T_{Di} \cdot P_i(a_i, x_i)}, \quad (17)$$

де Δ_i – сума інтенсивностей замін усіх елементів i -го типу у об'єкті;

$P_i(a_i, x_i) = P(x) = \Phi_i(a_i, x_i) - (x_i / a_i) \Phi_i(a_i, x_i + 1)$ – імовірність простою об'єкту через відсутність резервних елементів i -го типу в МР-О, яка визначається через число елементів, середню витрату елементів i функцію Пуассона з аргументами a_i, x_i ;

$\Phi_i(a_i, x_i) = e^{-a_i} \sum_{j=x_i}^{\infty} \frac{a_i^j}{j!}$ – диференціальна функція Пуассона;

$\Phi_i(a_i, x_i) = 1 - e^{-a_i} \sum_{j=x_i}^{\infty} \frac{a_i^j}{j!}$ – інтегральна функція Пуассона.

Стаціонарний коефіцієнт готовності $K_r(x)$ являє собою дискретну зростаючу функцію числа резервних елементів x . Його прирощення є низхідною функцією, тобто внесок кожного наступного елемента у МР-О зменшується, прагнучи при необмеженому збільшенні елементів до нуля. Якщо число запасних елементів x_i взяти так, щоб додаткові ймовірності цих елементів мали однакову величину, то такий комплект стане раціональним по сумарному числу елементів x . Це значить, що критерієм для вибору числа в кожній групі може служити рівність $\Delta K_{ri}(x) = \text{const}$.

Раціоналізація комплексу МР-О за вартістю забезпечується таким чином, щоб збільшення коефіцієнта готовності на одиницю вартості елементів x_i мали б однакову величину $\Delta K_{ri}(x)$ можна визначити як

$$\Delta K_r(a, x) \equiv \frac{T_{Di} \cdot \Phi(a, x)}{C_i} = \Phi_0 = \text{const}, \quad (18)$$

Звідси

$$\Phi_i(a_i, x_i) = \frac{C_i \cdot \Phi_0}{T_{Di}} \quad (19)$$

Порядок розрахунку МР-О можна викласти наступним чином.

Вихідні дані для розрахунку:

1) заданий коефіцієнт забезпеченості K_{30} об'єкту МР-О;

2) число груп однотипних елементів ($i=1,m$);

3) середня витрата елементів кожного типу за період поповнення МР-О (a_i);

4) вартість елементів кожного типу (C_i);

5) середній час відновлення об'єкту при відмові елементів кожного типу (T_{vi});

6) середній час доставки запасних елементів T_{di} ;

7) період поповнення МР-О у годинах T_c .

Виконання розрахунку.

1. Знаходимо максимальне й мінімальне значення стаціонарного коефіцієнта готовності об'єкту по формулам

$$K_{\Gamma}(\infty) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^m \Delta_i T_{Bi}},$$

$$K_{\Gamma}(0) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^m \Delta_i T_{Bi} + \sum_{i=1}^m \Delta_i T_{di}}, \quad (20)$$

2. Вибираємо перше значення показника вартісної раціоналізації МР-О (Φ_1). Його значення можна прийняти довільним, але мова йде про припущення ймовірності тому перше значення приймемо значно менш одиниці.

3. Знаходимо рівень показника раціоналізації для елементів першого типу по формулі (19) і значення x_1 . Таким же чином знаходимо усі x_i для $i=1,m$.

4. Використовуючи формули (13, 16) знаходимо $K_{\Gamma}(x)$ та $K_{30}(x)$.

5. Порівнюємо отримане значення коефіцієнта забезпеченості із заданою величиною

6.

$$K_{30}(x) < > K_{30} \quad (21)$$

Залежно від знака нерівності вибираємо нове значення для показника раціоналізації: якщо коефіцієнт забезпеченості виявився менш необхідного, то рівень показника раціоналізації зменшують і навпаки.

7. Повторюють дії п. 4 для нового значення показника раціоналізації.

Коли значення $K_{30}(x) \approx K_{30} \pm 1\%$ розрахунок закінчено.

Розраховані значення x_i ($i = 1,m$) дають наш раціональний за вартістю МР-О.

$$X_0 = \sum_{i=1}^m x_i \quad (22)$$

Математична модель, яка представлена вище, дозволяє визначити матеріальний резерв **об'єкту пожежно-технічного озброєння** (МР-О) для забезпечення виконання робіт по ліквідації наслідків НС на достатньому рівні при мінімальній вартості.

Розробка математичної моделі розрахунку групового матеріального резерву

Для МР-Г в якості критерію достатності можна використати коефіцієнт забезпеченості групи об'єктів одного типу озброєння матеріальними резервами

$$K_{3\Gamma}(x) = \frac{P_{\Delta}(x) - P_{\Delta}(0)}{1 - P_{\Delta}(0)} \cdot 100\% \quad (23)$$

де $K_{3\Gamma}(x)$ – коефіцієнт забезпеченості групи об'єктів озброєння МР;

$P_{\Delta}(x) = \prod_{j=1}^m e^{-a_j} \sum_{i=0}^{x_j} \frac{a_j^i}{i!}$ – імовірність достатності, коли МР-Г містить x елементів;

$P_{\Delta}(0) = \prod_{j=1}^m e^{-a_j}$ – імовірність достатності, коли у МР-Г немає запасних елементів;

m – число типів елементів в усіх об'єктах озброєння;

Робочі елементи групи об'єктів озброєння разом з елементами МР-Г можуть бути представлені статистично незалежними резервними групами. Тому ймовірність достатності $P_{\Delta}(x)$ при послідовній схемі надійності елементів об'єкту, коли відмова елемента призводить до відмови об'єкту представимо формулою

$$P_{\Delta}(x) = \prod_{i=1}^m P_{\Delta i}(a_i, x_i) \quad (24)$$

де $P_{\Delta i}(x_i) = e^{-a_i} \sum_{i=0}^{x_i} \frac{a_i^i}{i!}$ – імовірність достатності, коли МР-Г містить x_i елементів;

$a_i = n_i * \lambda_i * T_p$ — середнє число відмовних елементів, *знайдених* по числу елементів цього типу n_i , по інтенсивності відмов елементів i -го типу λ_i та витратам ресурсу об'єктів T_p за період поповнення МР-Г.

Типи та число запасних елементів у МР-Г повинні забезпечувати задане значення коефіцієнта забезпеченості або ймовірності достатності МР-Г.

Наше завдання полягає у знаходженні такого рішення про склад комплекту МР-Г, який би забезпечував задане значення коефіцієнта забезпеченості при мінімальній вартості. Таке рішення буде раціональним за вартістю.

Імовірність достатності $P_d(x)$ являє собою дискретну зростаючу функцію числа запасних елементів x . Прирошення ймовірності достатності є збитковою функцією, тобто внесок кожного наступного елемента у МР-Г зменшується, прагнучи при необмеженому збільшенні елементів до нуля. Якщо число запасних елементів x_i взяти так, щоб додаткові ймовірності цих елементів мали однакову величину, то такий комплект стане раціональним по сумарному числу елементів x . Це значить, що критерієм для вибору числа в кожній групі може служити рівність $\Delta P_{di}(x) = \text{const}$. $\Delta P_{di}(x)$ можна визначити як

$$\Delta P_{di}(x) = \phi_i(a_i, x_i) / (1 - \Phi(a_i, x_i)) = Y_i(a_i, x_i) \quad (25)$$

де $\phi_i(a_i, x_i) = e^{-a_i} \sum_{j=x_i}^{\infty} \frac{a_i^j}{j!}$ — диференціальна функція Пуассона;

$$\Phi_i(a_i, x_i) = 1 - e^{-a_i} \sum_{j=x_i}^{\infty} \frac{a_i^j}{j!} \quad —$$

інтегральна функція Пуассона;

$Y_i(a_i, x_i)$ — показник раціоналізації для i -го типу елементів.

Тепер раціоналізацію по сумарному числу елементів x забезпечить умова

$$Y_i(a_i, x_i) = Y - \text{const}$$

Два різних елементи з однаковим параметром надійності a_i дадуть те саме збільшення ймовірності достатності, але ціна його буде залежати від вартості кожного з елементів. Тому умова раціоналізації за вартістю комплекту МР повинно бути

сформульоване так: числа запасних елементів вибираються таким чином, щоб збільшення ймовірності достатності комплекту МР на одиницю вартості елементів C_i мали б однакову величину $Y_i(a_i, x_i) / C_i \approx Y_c - \text{const}$.

Тоді

$$Y_i(a_i, x_i) \approx Y_c \cdot C_i \quad (26)$$

Порядок розрахунку комплекту МР-Г можна викласти наступним чином.

Вихідні дані для розрахунку:

- 1) Заданий коефіцієнт забезпеченості групи систем МР-Г при визначеній точності — $K_{зг} \pm 1\%$ (відсоток визначає замовник МР-Г);
- 2) Кількість типів елементів в об'єктах озброєння — m ;
- 3) Середня витрата елементів кожного типу a_i ($i=1, m$);
- 4) Вартість елементів кожного типу C_i ($i=1, m$).

Виконання розрахунку:

1. Вибираємо перше значення показника раціоналізації МР-Г — Y_c^1 . Його значення можна прийняти довільним. Але мова йде про ймовірнісне значення, до того ж помножене на вартість елементів. Перше значення приймемо, наприклад

$$Y_c^1 = 10^{-3}$$

2. Визначаємо рівень показника оптимізації для елемента першого типу виходячи з формули (26).

$$Y_{c1}(a_1, x_1) = Y_c^1 \cdot C_1$$

3. По відомим середньому числу відмовних елементів першого типу a_1 та рівню оптимізації $Y_{c1}(a_1, x_1)$, використав (25), знаходимо число запасних елементів першого типу x_1 .

4. Виконуючи пункти 2,3 для ($i = 1, m$) знаходимо x_i для ($i=1, m$).

5. По a_i, x_i розраховуємо $P_{di}(a_i, x_i)$, використовую пояснення формули (24) для ($i = 1, m$).

6. По формулам (23,24) знаходимо $P_d^1(x)$ та $K_{зг}^1(x)$ та порівнюємо з заданим показником $K_{зг}$.

В залежності від знаку порівняння зменшуємо або збільшуємо показник раціоналізації і виконуємо розрахунки за пунктами 1-6 методики.

Коли значення $K_{3Г}^1(x) \approx K_{3Г} \pm 1\%$ розрахунок закінчено.

Розраховані значення x_i ($i = 1, m$) дають наш раціональний за вартістю ЗИП-Г.

$$X_{Г} = \sum_{i=1}^m x_i \quad (27)$$

Пропонована математична модель дозволяє розрахувати комплект матеріального резерву групи однотипних об'єктів (МР-Г), який задовольняє задане значення коефіцієнта забезпеченості при мінімальній вартості.

Обговорення результатів розробки математичних моделей розрахунку матеріального резерву.

Значна кількість надзвичайних ситуацій, великі людські та матеріальні втрати вимагають підвищення оперативності та ефективності функціонування **об'єктів озброєння підрозділів сил цивільного захисту при виконанні завдань з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, а також в цілому ефективності функціонування Єдиної державної системи цивільного захисту.**

У свою чергу ефективність функціонування підрозділів сил цивільного захисту при **ліквідації НС та їх наслідків залежить від** рівня готовності об'єктів озброєння та техніки з урахуванням наявності різних видів матеріальних резервів.

Запропоновано та введено до розгляду поняття декількох видів матеріальних резервів, необхідних для забезпечення експлуатації та ремонту техніки та озброєння. Матеріальні резерви можуть утворюватися за окремими типами елементів на складах – складський, комплект матеріального резерву для окремого типу техніки чи озброєння на один об'єкт – об'єктовий або на групу однотипних об'єктів техніки – груповий.

Математичні моделі розрахунку різних видів матеріальних резервів базувалися на математичному апараті теорії ймовірностей з

використанням деяких показників надійності озброєння, визначених у державному стандарті ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.

Математична модель розрахунку об'єму складського матеріального резерву для забезпечення **реагування на НС та ліквідації їх наслідків дозволяє визначити його** на достатньому заданому рівні.

При розробці матеріального резерву об'єкту озброєння на достатньому рівні при мінімальній вартості у якості показників раціоналізації використовувалось наступне. Якщо число запасних елементів у резерві взяти так, щоб додаткові ймовірності цих елементів мали однакову величину, то такий комплект стане раціональним по сумарному числу елементів. Це означало, що критерієм для вибору числа елементів кожного типу може бути постійне значення прирощення коефіцієнту готовності об'єкту. Раціоналізація матеріального резерву об'єкту за вартістю забезпечується таким чином, щоб збільшення коефіцієнта готовності на одиницю вартості елементів також мали б однакову величину.

При розробці математичної моделі розрахунку комплекту матеріального резерву групи однотипних об'єктів, задовольняючому заданому значенню коефіцієнта забезпеченості при мінімальній вартості питання раціоналізації було забезпечено наступним. Два різних елементи з однаковим параметром надійності забезпечують однакове збільшення ймовірності достатності, але ціна його буде залежати від вартості кожного з елементів. Тому умова раціоналізації за вартістю комплекту матеріального резерву повинно бути сформульоване таким чином: число запасних елементів різного типу повинно забезпечувати однакову величину збільшення ймовірності достатності комплекту матеріального резерву на одиницю вартості елементів.

В розділах присвячених розробці математичних моделей приведено порядок виконання розрахунків різних видів

матеріального резерву **об'єктів озброєння сил цивільного захисту**.

Недоліком розробленого методу є складність розрахунків різних видів матеріальних резервів (реалізація математичного апарату теорії ймовірностей,

значний об'єм розрахунків). Тому подальшим напрямом наукових досліджень з даної проблематики вбачається розробка комп'ютерних програм розрахунку різних видів матеріальних резервів.

Висновки

1. Проведено розробку математичної моделі розрахунку складського матеріального резерву на основі використання параметрів надійності різних типів елементів, які будуть знаходитись у складському матеріальному резерві. Комплексними показниками рівня достатності МР-С прийнято коефіцієнт забезпеченості та імовірність достатності елементів i -го типу (формула (1)). Приведено порядок виконання розрахунку.

2. Розроблено математичну модель розрахунку раціонального за вартістю об'єму матеріальних резервів об'єкту озброєння. Основними показниками для розрахунку МР-О використано параметри надійності різних типів елементів та їх вартість, показники надійності об'єкту, такі як – середній наробіток до відмови об'єкту, середня тривалість відновлення працездатного стану об'єкту після відмов та час доставки

резервного елементу у разі його відсутності в комплекті МР-О. Комплексними показниками рівня достатності МР-ОС прийнято коефіцієнт забезпеченості матеріальним резервом та коефіцієнт готовності об'єкту (формули 16 та 17). Приведено порядок виконання розрахунку.

3. Виконано розробку математичної моделі розрахунку раціонального за вартістю об'єму матеріальних резервів групи однотипних об'єктів озброєння. Основними показниками для розрахунку МР-Г використано параметри надійності різних типів елементів та їх вартість. Комплексними показниками рівня достатності МР-Г прийнято коефіцієнт забезпеченості групи об'єктів одного типу озброєння матеріальними резервами та імовірність достатності, коли МР-Г містить розраховану кількість резервних елементів (формула 23). Приведено порядок виконання розрахунку.

Список використаних джерел

1. Ozdamar L., Demir O. A (2012). Hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. № 48(3). P. 591-602.
2. Sebatli A., Cavdur F., Kose-Kucuk M. (2017). Determination of relief supplies demands and allocation of temporary disaster response facilities. *Transportation Research Procedia*. №22. C. 245–254.
3. Brito I. Jr., Leiras A., Yoshizaki H. (2015). Stochastic optimization applied to the pre-positioning of disaster relief supplies in Brazil. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Porto de Galinhas, PE. URL: <https://www.researchgate.net/publication/303939071>
4. Новожилова М. В, Михайловська Ю. В. (2019). Розробка організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. № 32. С. 56–72.
5. Wang, W., Huang, L., Guo, Z. (2017). Optimization of emergency material dispatch from multiple depot locations to multiple disaster sites. *Sustainability*, 9, 1978–1991.
6. Zheng, Y.-J., Ling, H.-F. (2012). Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach. *Soft*

- Computing*, 17(7), 1301–1314.
7. Liu, J., Guo, L., Jiang, J., Jiang, D., Liu, R., Wang, P. (2016) A two-stage optimization model for emergency material reserve layout planning under uncertainty in response to environmental accidents. *Journal of Hazardous Materials*. Vol 310, June 05, P. 30–39.
 8. Zhang, Y. (2012) Evaluation study on governmental emergency material ensuring capability. *Journal of Natural Disasters*. Vol. 21, Issue 1, February. P. 78–84
 9. Laurant van Oers, Jeroen B. Guinée & Reinout Heijungs (2020). Abiotic resource depletion potentials (ADPs) for elements revisited—updating ultimate reserve estimates and introducing time series for production data *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 25, P. 294–308
 10. Vlada Sokolovic, Václav Zajíček (2016). Optimatization of the material reserves loading. URL: https://www.unob.cz/eam/Documents/Archiv/EaM_1_/Sokolovic_Zajicek.pdf
 11. Levterov, O. A., Shevchenko, R. I. (2019). Hardware and software implementation of modern approaches to the prevention of natural emergencies. *Problems of emergencies*, 1(29), 47–61.
 12. Shao, J., Liang, C., Wang, X., Wang, X., Liang, L. (2020) Relief demand calculation in humanitarian logistics using material classification. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 582. DOI: 10.3390/ijerph17020582.PE

Разработка математических моделей расчета материальных резервов техники сил гражданской защиты

Михаил Дивизинюк * ^{1 A}; Валерий Елисеев ^{2 B}; Владимир Мирненко ^{3 C}; Андрей Прусский ^{4 B}; Василий Тищенко ^{5 B}; Евгений Власенко ^{6 B}

* Corresponding author: ¹ д.ф.-м., профессор, заведующий отделом, e-mail: divizinyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5657-2302

² к.т.н., доцент, преподаватель кафедры, e-mail: elisev1941@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2427-0860

³ д.т.н., профессор, Заслуженный работник образования Украины, директор департамента, e-mail: mirnenkovi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7484-1035

⁴ д.т.н. доцент, начальник кафедры, e-mail: prusskiy@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9132-7070

⁵ к.н. держ.упр. доцент, доцент кафедры, e-mail: tva_5555@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7505-1599

⁶ старший преподаватель кафедры, e-mail: geniy20091@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9619-1504

^A Институт геохимии и окружающей среды НАН Украины, Киев, Украина.

^B Институт государственного управления и научных исследований по гражданской защите, г. Киев, Украина.

^C Департамент военного образования и науки Министерства обороны Украины, г. Киев, Украина.

Аннотация

Разработаны математические модели расчета различных видов материального резерва техники (объектов вооружения) сил гражданской защиты для обеспечения оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации техногенного, природного, социального и военного характера. Новый научный результат заключается в ряде математических моделей, созданных для повышения эффективности функционирования техники, подразделений сил гражданской защиты при выполнении задач по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, а также в целом эффективности функционирования единой государственной системы гражданской защиты. Показано, что для обеспечения эффективного функционирования подразделений сил гражданской защиты при выполнении задач по ликвидации чрезвычайных ситуаций и их последствий на достаточном (заданном) уровне готовности с учетом наличия различных видов материальных резервов необходимо разработать модели которые бы позволяли определить необходимые виды и объемы материальных резервов. Предложен и введен к рассмотрению понятия нескольких видов материальных резервов, необходимых для обеспечения эксплуатации и ремонта техники и вооружения. Материальные резервы

могут образовываться по отдельным типам элементов на складах – складской, комплект материального резерва для отдельного типа техники или вооружения на один объект – объектовый или на группу однотипных объектов техники – групповой. Составляющими моделей расчета различных видов материальных резервов, рассматривается возможность рационального определения объема складского материального резерва для обеспечения предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и их последствий на достаточном уровне, рационального определения уровня одиночного материального резерва на достаточном уровне при минимальной стоимости, а также материального резерва группы однотипных объектов вооружения при заданном коэффициенте обеспеченности при минимальной стоимости. Для оценки влияния материальных резервов на эффективность функционирования подразделений сил гражданской защиты при ликвидации ЧС и их последствий использовано некоторые показатели надежности вооружения определены в стандарте ДСТУ 2860-94. Надежность техники. Термины и определения. В работе приведены алгоритм действий при расчете различных видов материального резерва объектов вооружения сил гражданской защиты.

Ключевые слова: силы гражданской защиты, материальные резервы, показатели готовности, вероятность, чрезвычайная ситуация, математическая модель расчета.

Development of mathematical models of calculation of material reserves engineers of civil protection forces

**Mykhailo Divizynyuk^{1 A}; Valeriy Yelisieiev^{2 B}; Volodymyr Mirnenko^{3 C};
Andrii Pruskyi^{4 B}; Vasyl Tishchenko^{5 B}; Eugene Vlasenko^{6 B}**

* **Corresponding author:** ¹ Dr, Professor, Head of Department, e-mail: divizynyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5657-2302

² Ph.D., Associate Professor, Lecturer, e-mail: elisev1941@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2427-0860

³ Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Education of Ukraine, Director of the Department, e-mail: mirnenkovi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7484-1035

⁴ Dr, Associate Professor, Head of the Department, e-mail: pruskiy@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9132-7070

⁵ Ph.D. state management Associate Professor, Associate Professor, e-mail: tva_5555@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7505-1599

⁶ senior lecturers of the department, e-mail: geniy20091@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9619-1504

^A Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

^B Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine

^C Department of Military Education and Science of the Ministry of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract

Mathematical models of calculation of various types of material resources (weapons) of civil protection forces to ensure operational response to emergency situations of man-made, natural, social and military nature are developed. The new scientific result is a number of mathematical models that are designed to improve the efficiency of the equipment, the units of civil protection forces when performing tasks to eliminate the consequences of emergencies, as well as in general the efficiency of the functioning of a single state civil protection system. It is shown that in order to ensure the effective functioning of civil protection units in the performance of the tasks of eliminating the NA and their consequences on sufficient (given) level of readiness, taking into account the presence of various types of material reserves, it is necessary to develop models that would allow to determine the necessary types and volumes of material reserves. It is proposed and introduced to consider the concept of several types of material reserves necessary to ensure the operation and repair of technology and weapons. Material reserves can be formed in separate types of elements in warehouses – warehouse, a set of material reserve for a separate type of technique or arms to one object – object or a group of single-type objects of technology – group. The components of the calculation of various types of material reserves that are considered is the possibility of a rational determination of the volume of warehouse material reserve to ensure the prevention and elimination of emergencies and their consequences at a sufficient level, rational

determination of the level of single material reserve at a sufficient level at a minimum value, as well as The material reserve of a group of single-type weapons in a given coefficient of security at a minimum value. In order to assess the impact of material reserves for the efficiency of functioning of civil protection forces in the elimination of NA and their consequences, some indicators of armament reliability are used in the State Standard of DSTU 2860-94. Reliability of technology. Terms and definitions. In this paper, an action algorithm is given in calculating various types of material reserve of objects of civil protection forces.

Keywords: civil protection, material reserves, readiness indicators, probability, emergency, mathematical model of calculation.

References

- Ozdamar L., Demir O. A (2012). Hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. № 48(3). P. 591-602.
- Sebatli A., Cavdur F., Kose-Kucuk M. (2017). Determination of relief supplies demands and allocation of temporary disaster response facilities. *Transportation Research Procedia*. №22. C. 245–254.
- Brito I. Jr., Leiras A., Yoshizaki H. (2015). Stochastic optimization applied to the pre-positioning of disaster relief supplies in Brazil. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto de Galinhas, PE*. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/303939071>
- Novozhilova M. V., & Mikhaylovska Yu. V. (2019) Rozrobka organizatsiynotekhnichnogo metodu formuvannya resursnogo zabezpechennya reaguвання na nadzvichayni situatsii. [Development of organizational and technical method of formation of resource response to emergencies]. *Problemi nadzvichaynikh situatsiy*. 32. 56–72. [in Ukrainian]
- Wang, W., Huang, L., Guo, Z. (2017). Optimization of emergency material dispatch from multiple depot locations to multiple disaster sites. *Sustainability*, 9, 1978–1991.
- Zheng, Y.-J., Ling, H.-F. (2012). Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach. *Soft Computing*, 17(7), 1301–1314.
- Liu, J., Guo, L., Jiang, J., Jiang, D., Liu, R., Wang, P. (2016) A two-stage optimization model for emergency material reserve layout planning under uncertainty in response to environmental accidents. *Journal of Hazardous Materials*. Vol 310, June 05, P. 30-39.
- Zhang, Y. (2012) Evaluation study on governmental emergency material ensuring capability. *Journal of Natural Disasters*. Vol. 21, Issue 1, February. P. 78-84
- Lauran van Oers, Jeroen B. Guinée & Reinout Heijungs (2020). Abiotic resource depletion potentials (ADPs) for elements revisited—updating ultimate reserve estimates and introducing time series for production data *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 25, P. 294–308
- Vlada Sokolovic, Václav Zajíček (2016). Optimatization of the material reserves loading. Available from: https://www.unob.cz/eam/Documents/Archiv/EaM_1_/Sokolovic_Zajicek.pdf
- Levterov, O. A., Shevchenko, R. I. (2019). Hardware and software implementation of modern approaches to the prevention of natural emergencies. *Problems of emergencies*, 1(29), 47–61.
- Shao, J., Liang, C., Wang, X., Wang, X., Liang, L. (2020) Relief demand calculation in humanitarian logistics using material classification. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 582. DOI: 10.3390/ijerph17020582.PE