

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЄДИНОЇ ДЕРЖАВНОЇ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Розглядається задача формування математичної моделі процесу функціонування єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДС ЦЗ) як замкненої системи масового обслуговування з обмеженим числом вимог на обслуговування, обмеженим числом обслуговуючих апаратів та різною продуктивністю каналів обслуговування.

Ключові слова: єдина державна система, цивільний захист, ймовірність.

Постановка проблеми. Єдина державна система цивільного захисту (далі – ЄДС ЦЗ) являє собою складну ієрархічну систему, що реалізує комплекс заходів, які здійснюються центральними та місцевими органами виконавчої влади, їх силами і засобами, об'єктами господарювання, добровільними рятувальними формуваннями з метою запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій (далі – НС) у мирний час і в особливий період [1].

Складність системи визначається можливістю розчленування її на підсистеми за різними ознаками – структурними (органи управління, сили та засоби за відповідними територіальними рівнями), функціональними (запобігання та ліквідація наслідків НС спрямоване на захист населення, тварин, рослин, об'єктів економіки і довкілля), діяльними за основними заходами у сфері цивільного захисту тощо. Іншою прикметою складності є те що зміни в будь якому її окремому елементі, впливають на інші елементи та функціонування системи в цілому [2].

Негативні тенденції, зокрема підвищення ризику виникнення надзвичайних ситуацій внаслідок антропогенного і техногенного впливу на території, значні матеріальні та соціальні збитки, пов'язані із збільшенням кількості надзвичайних ситуацій та їх масштабу, становлять загрозу національній безпеці в економічній, соціальній та екологічній сфері.

Недосконалість нормативно-правового забезпечення діяльності у сфері цивільного захисту призводить до неефективного виконання завдань щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, захисту населення і територій від їх наслідків.

Відповідні завдання і повноваження органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій визначені не в повному обсязі. Крім того, система управління процесами у сфері цивільного захисту потребує удосконалення [3].

Постановка завдання. Метою розроблення математичної моделі процесу функціонування Єдиної державної системи цивільного захисту є можливість визначення якісних та кількісних показників формувань і підрозділів, для забезпечення необхідного рівня функціонування ЄДС ЦЗ у стаціонарному режимі або за заданий час, а також визначення необхідного значення продуктивності цих формувань для забезпечення відновлення функціонування ЄДС ЦЗ на достатньому рівні.

Виклад основного матеріалу. Для розробки математичної моделі процесу функціонування ЄДС ЦЗ перш за все необхідно визначити кількісні критерії оцінювання рівня ефективності функціонування системи при заданих силах, засобах та тривалості процесу оцінки функціонування. Таким чином необхідно визначити:

- кількісний критерій (показник) рівня ефективності функціонування ЄДС ЦЗ при заданій структурі, силах та засобах;

- кількість та якість формувань, підрозділів, для забезпечення достатнього рівня функціонування ЄДС ЦЗ за заданий час;

- необхідний рівень продуктивності формувань для забезпечення відновлення функціонування ЄДС ЦЗ до заданого рівня.

В залежності від проміжку часу за який необхідно оцінити ефективність функціонування ЄДС ЦЗ можливі два варіанти вирішення цієї проблеми.

Перший варіант розрахований на умови, коли рівень ефективності функціонування ЄДС ЦЗ оцінюється за достатньо тривалий проміжок часу і замість показників, які залежать від часу, можна використовувати їх середні величини, тобто при $t \rightarrow \infty$. Назвемо цей варіант "стаціонарним".

Другий варіант, коли ми оцінюємо кількість та якість необхідних формувань, підрозділів для забезпечення достатнього (прийняттого) рівня ефективності функціонування ЄДС ЦЗ за заданий проміжок часу – t . Назвемо цей варіант вирішення проблеми - "часовий".

Розглянемо "стаціонарний" варіант оцінки ефективності функціонування ЄДС ЦЗ.

З точки зору функціонування ЄДС ЦЗ являє собою багатоканальну замкнену систему масового обслуговування (СМО) з обмеженим числом вимог на обслуговування, обмеженим числом обслуговуючих апаратів та різною продуктивністю каналів обслуговування [4].

Вимогами на обслуговування виступають потоки надзвичайних ситуацій різного рівня, обслуговуючими апаратами – формування сил та засобів територіальних і функціональних підсистем державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів функціонування ЄДС ЦЗ, продуктивністю каналів обслуговування виступає інтенсивність ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій різного рівня.

При формуванні математичної моделі функціонування ЄДС ЦЗ на першому етапі введемо обмеження – будемо розглядати тільки НС техногенного характеру.

Загальне (максимальне) число вимог в СМО позначимо M_0 (наприклад, число потенційно небезпечних об'єктів в структурі, яку обслуговує ЄДС ЦЗ), тому максимальна кількість НС різного рівня може бути рівною:

$$M_0 = M_{НС} = \sum_{i=1}^{K_{НС}} \sum_{j=1}^4 M_{НСij}, \quad j = 0, m, p, d$$

де: $M_{НС}$ – загальне число НС техногенного характеру;

$K_{НС}$ – число видів (ідентифікаційних кодів) НС техногенного характеру;

$M_{НСij}$ - число НС i -го виду j -го рівня;

0, m, p, d -- відповідно НС об'єктового, місцевого, регіонального або державного рівня.

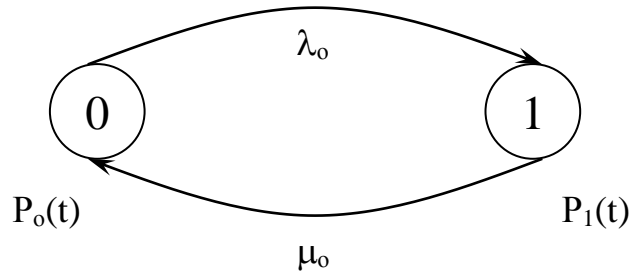
Надзвичайні ситуації можуть виникати з інтенсивністю λ_{ij} – НС i -го виду, j -го рівня. Після виникнення НС з'являється потік вимог на реагування та ліквідацію наслідків НС з інтенсивністю відновлення μ_{ij} – НС i -го виду, j -го рівня.

В залежності від рівня НС вона ліквідується силами та засобами того ж рівня функціонування ЄДС ЦЗ (об'єктового, місцевого, регіонального або державного рівня), що відповідає у СМО одному з 4-х каналів обслуговування ЄДС ЦЗ.

На об'єктовому рівні (позначимо інтенсивність НС об'єктового рівня, як λ_0) має місце постійно забезпечене обслуговування об'єкту, тому що на кожному потенційно небезпечному об'єкті (далі – ПНО) є сили та засоби спеціально призначені для ліквідації наслідків НС. Ліквідація наслідків НС проводиться з інтенсивністю μ_0 . Допускаючи, що в ЄДС ЦЗ на кожен НС здійснюється реагування та її ліквідація, ЄДС ЦЗ як СМО можна

представити як об'єднання $M_{НС}$ незалежних замкнутих систем з параметрами потоків λ_{ij} та μ_{ij} .

Графік подій такої одиничної системи, наприклад для об'єкту, має вигляд:



де $P_0(t)$ – ймовірність перебування ПНО в безаварійному стані;

$P_1(t)$ – ймовірність перебування ПНО в стані НС.

Нормуюча умова $P_0(t)+P_1(t)=1$.

Запишемо для цього графу подій систему диференціальних рівнянь:

$$P_0'(t) = -\mu_0 P_0(t) + \mu_0 P_1(t);$$

$$P_1'(t) = -\lambda_0 P_0(t) - \mu_0 P_1(t).$$

З урахуванням нормуючої умови для стаціонарного режиму $t \rightarrow \infty$ рівняння мають вид:

$$(\lambda_0 + \mu_0)P_0 = \mu_0;$$

$$(\lambda_0 + \mu_0)P_1 = \lambda_0.$$

звідки

$$P_0 = \frac{\mu_0}{\lambda_0 + \mu_0}; \quad P_1 = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \mu_0}.$$

Середнє число не ліквідованих НС об'єктового рівня буде складати

$$m_0 = M_0 * P_1 = M_0 * \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \mu_0}$$

При визначенні показників рівня ефективності функціонування ЄДС ЦЗ як СМО можемо мати стаціонарне рішення тільки у випадку, коли $\mu_{ij} > \lambda_{ij}$.

У випадку коли для ліквідації НС місцевого, регіонального або державного рівня недостатньо формувань (наприклад, ліквідація НС державного рівня кінця 2000 р., порушення енергосистем ряду регіонів у зв'язку з обледенінням) має місце очікування обслуговування, тоді система диференціальних рівнянь для НС місцевого рівня має вигляд:

$$P_0'(t) = K_{уч} \cdot \lambda_M P_0(t) + \mu_M \cdot P_1(t);$$

$$P_{K_\phi}'(t) = -[(K_{уч} - K_\phi)\lambda_M + K_\phi \mu_M] P_{K_\phi}(t) + (K_{уч} - K_\phi + 1)\lambda_M P_{K_\phi-1}(t) + K_\phi \cdot \mu_M P_{K_\phi+1}(t).$$

$$P_{K_{уч}}(t) = -K_\phi \mu P_{K_\phi+1}(t)$$

де $K_{уч}$ – необхідна кількість ділянок ліквідації НС;

K_ϕ – реальна кількість формувань для ліквідації НС.

При допущенні, що $\lambda_{\mu} - \text{const}$, $\mu_M - \text{const}$, $t \rightarrow \infty$ переходимо у стаціонарний режим функціонування ЄДС ЦЗ.

Замість системи диференційних рівнянь запишемо систему алгебраїчних рівнянь і не приводячи рішення системи запишемо ймовірність перебування ПНО для місцевого рівня в безаварійному стані

$$P_M = \sum_{n=0}^{K_{\phi}} \frac{K_{y2}!}{n!(K_{y2-n})!} \left(\frac{\lambda_M}{\mu_M} \right)^n + \sum_{n=K_{\phi+1}}^{K_{y2}} \frac{K_{y2}!}{K_{\phi}^{n-K_{\phi}} K_{\phi}!(K)} \left(\frac{\lambda_M}{\mu_M} \right)^n$$

Середнє число не ліквідованих НС місцевого рівня буде складати

$$m_M = \frac{\sum_{n=0}^{K_{\phi}} \frac{K_{y2}!}{(n-1)!(K_{y2-n})!} \left(\frac{\lambda_M}{\mu_M} \right)^n + \sum_{n=K_{\phi+1}}^{K_{y2}} \frac{K_{y2}!}{K_{\phi}^{n-K_{\phi}} K_{\phi}!(K)} \left(\frac{\lambda_M}{\mu_M} \right)^n}{\sum_{n=0}^{K_{\phi}} \frac{K_{y2}!}{n!(K_{y2-n})!} \left(\frac{\lambda_M}{\mu_M} \right)^n + \sum_{n=K_{\phi+1}}^{K_{y2}} \frac{K_{y2}!}{K_{\phi}^{n-K_{\phi}} K_{\phi}!(K)} \left(\frac{\lambda_M}{\mu_M} \right)^n}$$

Прорахував аналогічно середні значення не ліквідованих НС регіонального та державного рівня запишемо загальне середнє число не ліквідованих НС в ЄДС ЦЗ - $m_{НС}$.

$$m_{НС} = \sum_{j=1}^4 (m_o + m_M + m_p + m_d)$$

де: m_o - кількість не ліквідованих НС об'єктового рівня;

m_M - кількість не ліквідованих НС місцевого рівня;

m_p - кількість не ліквідованих НС регіонального рівня;

m_d - кількість не ліквідованих НС державного рівня.

При відомому значенні $m_{НС}$ введемо показник рівня ефективності функціонування ЄДС ЦЗ - K_{Γ} , порахував його за формулою:

$$K_{\Gamma} = \frac{M_o - m_{НС}}{M_o}, \quad (1)$$

де: K_{Γ} - коефіцієнт готовності ЄДС ЦЗ, стаціонарна ймовірність того, що ЄДС ЦЗ не матиме НС.

Розглянемо "часовий" варіант оцінки ефективності функціонування ЄДС ЦЗ.

Критерієм оцінки рівня ефективності функціонування ЄДС ЦЗ за "часовим" варіантом візьмемо $K_{\Gamma}(t)$ – ймовірність того, що ЄДС ЦЗ не матиме неліквідованих надзвичайних ситуацій (НС) у момент часу t .

Критерій для "часового" варіанту буде мати вигляд:

$$K_{\Gamma}(t) = 1 - (m_{НС} \square m_d(t)) / M_o, \quad (2)$$

де: $m_{НС}$ - кількість не ліквідованих НС;

$m_d(t)$ – кількість ліквідованих НС за час t .

Фактичне значення критеріїв залежить від :

кількості формувань з ліквідації НС та інтенсивності робіт по ліквідації НС;

характеру та особливостей оперативної обстановки при ліквідації НС;

наявності фінансових та матеріальних резервів тощо.

Спрощене рішення задачі для "часового" варіанту може бути таким:

Вихідні дані :

1. Початкова кількість НС усіх рівнів на момент $t = 0$ початку робіт з ліквідації

$$m_{НС} = \sum_{j=1}^4 (m_o + m_M + m_p + m_d),$$

2. Для кожного рівня НС маємо відповідну кількість формувань, яка проводить аварійно-рятувальні та відновлювальні роботи з інтенсивністю:

$$\mu_j = 1 / T_{vj}.$$

3. Ймовірність того, що НС буде ліквідована за час t , визначається за формулою:

$$V_j = 1 - e^{-\mu_j * t}$$

Необхідно визначити $K_r(t)$.

Рішення :

1. Кількість ліквідованих НС за час t буде складати:

$$m_l(t) = m_{ло}(t) + m_{лм}(t) + m_{лр}(t) + m_{лд}(t),$$

а коефіцієнт готовності ЄДС ЦЗ:

$$K_r(t) = 1 - m_{нс} / M_o + m_l(t) / M_o.$$

2. Визначаємо кількість ліквідованих НС об'єктового, місцевого, регіонального рівня з урахуванням того, що для ліквідації НС на кожному об'єкті є сили та засоби для ліквідації:

$$m_{ло} = m_o * V_o(t) = m_o * (1 - e^{-\mu_o t}).$$

При ліквідації НС місцевого, регіонального або державного рівня кількість формувань може бути менш ніж кількість ділянок (об'єктів) НС:

$$k_{фj} < k_{учj} \quad j = м, р, д.$$

Тобто можливе існування черги на проведення рятувальних та інших невідкладних робіт.

Кількість ліквідованих НС в залежності від часу існування черги $t \leq t_{ч}$ або $t > t_{ч}$ ($k_{учj} > k_{фj}$) буде складати:

$$m_{лj}(t) = \begin{cases} k_{фj} * \mu_j * t & \text{при } t \leq tr_j; \\ m_j \square k_{фj} e^{-\mu(t-tr_j)} & \text{при } t > tr_j. \end{cases}$$

Черга буде існувати до тих пір, доки кількість неліквідованих НС буде більше кількості формувань.

Звідки:

$$tr_j = (k_{учj} - k_{фj}) / (k_{фj} \mu_j).$$

Таким чином, прорахував значення ліквідованих за час t НС об'єктового, місцевого, регіонального та державного рівнів, за формулою (2) можна визначити коефіцієнт готовності ЄДС ЦЗ для "часового" варіанту процесу функціонування системи.

Висновки. Використовуючи наведений математичний апарат можна при заданій структурі, силах та засобах ЄДС ЦЗ визначити кількісний та якісний склад необхідних формувань і підрозділів для забезпечення достатнього (прийняттого) рівня функціонування ЄДС ЦЗ у стаціонарному режимі або за заданий проміжок часу, а також визначити, яка повинна бути продуктивність цих формувань, щоб забезпечити відновлення функціонування ЄДС ЦЗ на достатньому рівні.

Визначивши втрати від наслідків НС $W_{нс}$ можна розрахувати значення ризику НС для ЄДС ЦЗ при "стаціонарному" або "часовому" режимі функціонування.

$$R_{нс} = (1 - K_r) * W_{нс} = m_{нс} / M_o * W_{нс}.$$

$$R_{нс}(t) = (1 - K_r(t)) * W_{нс} = (m_{нс} / M_o - m_l(t) / M_o) * W_{нс}.$$

Список використаних джерел

1. Про правові засади цивільного захисту : закон України від 24 черв. 2004 р. № 1859-IV // Відом. Верховної Ради України. – 2004. – № 39. – Ст. 488.
2. Основи цивільного захисту / О.В. Бикова, О.Ч. Болієв, Д.М. Деревинський та ін. ; за заг. ред. М. В. Болотських. – К. : Вид-во «Форест-А», 2008. – 360 с.

3. Петухов С.И., Новиков О.А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. М. 1969.