

УДК 614.8 : 519.711

Н.Г. Кучук

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛИКВИДАЦИЕЙ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА

В статье разработана обобщенная математическая модель процесса оперативного управления ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций глобального характера, которая позволяет учесть жесткие требования к оперативности принятия решений, распределенность привлекаемых сил и средств и иерархию органов управления.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, математическая модель, ликвидация последствий.

Введение

Стихийные бедствия, аварии и катастрофы – частые явления в любой стране, в том числе и в Украине. Каждый год в том или ином регионе происходят сильные разливы рек, прорывы дамб и плотин, землетрясения, бури, ураганы, лесные пожары, взрывы на промышленных предприятиях, химические аварии и т.п. Большей частью чрезвычайные ситуации имеют природное происхождение (стихийные бедствия) или носят техногенный характер (аварии и катастрофы). Каждому стихийному бедствию, аварии и катастрофе присущи свои особенности, характер поражений, объем и масштабы разрушений, возможное количество человеческих жертв. Каждое по-своему накладывает отпечаток на окружающую среду.

Управление при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) заключается в руководстве силами и средствами при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ. Главной целью управления является обеспечение эффективного использования сил и средств различного предназначения, в результате чего работы в зонах чрезвычайных ситуаций должны быть выполнены в полном объеме, в кратчайшие сроки, с минимальными потерями населения и материальных средств. Чем выше уровень ЧС, тем сложнее осуществлять управление при ее ликвидации. **Актуальной** является проблема организации оптимального управления ликвидацией ЧС высших уровней (регионального и общегосударственного) – ЧС глобального характера (ГЧС) [1, 2].

Подходы к решению данной проблемы рассматриваются многими авторами, например, в [2 – 9]. Однако жесткие требования к оперативности принятия решений, распределенность привлекаемых сил и средств, неполнота информации требуют для ее решения разработки соответствующей математической модели процесса, что и является **целью данной статьи**.

Результаты исследования

Система управления ликвидацией ГЧС является строго иерархической, с заданной структурой [7], поэтому ее можем представить m -уровневым деревом G_X с корнем X^0 [10]:

$$G_X = (\bar{X}, R), \quad (1)$$

где $\bar{X} = (X^0, \bar{X}^1, \dots, \bar{X}^{m-1})$ – кортеж, состоящий из множества органов управления (ОУ) различных рангов; X^0 – главный (центральный) орган управления; $\bar{X}^i = (X_1^i, X_2^i, \dots, X_{\ell_i}^i)$ ($0 \leq i \leq m-1$) – множество органов управления i -го ранга; $R = \{r_{jv}^i\}$ ($0 \leq i \leq m-2$; $1 \leq j \leq \ell_i$; $1 \leq v \leq \ell_{i+1}$) – множество дуг графа, представляющих собой связи подчиненности между органами управления, индекс i указывает ранг органа управления j , из которого выходит связь; v – номер вершины $(i+1)$ -го ранга, в которую входит связь.

Управление работами по ликвидации ГЧС начинается с момента возникновения чрезвычайной ситуации и завершается после ее ликвидации. Оно осуществляется, как правило, по суточным циклам, каждый из которых включает:

- сбор данных об обстановке, анализ и оценку обстановки;
- подготовку выводов и предложений для решения на проведение работ;
- принятие (уточнение) решения и доведение задач до исполнителей;
- организацию взаимодействия;
- обеспечение действий сил и средств.

Содержание функций управления и их цикличность характерны для планомерного проведения аварийно-спасательных работ; в случаях резких изменений обстановки они могут быть изменены и

органи управління будуть діяти в відповідності з конкретною обстановкою.

Рішення на проведення спасательних і других неотложних робіт в зоні надзвичайної ситуації є основою управління; його приймає і організує виконання керівник органу управління відповідного рівня (зgodовано з вищою рівнем в ієрархії (1)). Рішення включає наступні основні елементи:

- краткі висновки з оцінки обстановки;
- задум дій;
- завдання підпорядкованим формуванням, частинам і підрозділам;
- заходи безпеки;
- організацію взаємодії;
- забезпечення дій формувань.

Оскільки при проведенні ліквідації ГЧС ієрархія цілей і завдань завжди збігається з адміністративною ієрархією [2, 9], поставимо в відповідність графу G_X ізоморфний йому граф $G_C(\bar{C}, N)$ з множиною вершин \bar{C} , представляючим собою цілі управління, стоячі перед відповідними органами управління в графі G_X , і $N = \{h_{jv}^i\}$ – множиною дуг графа G_C , які визначають відношення умов досягнення цілей верхнього рівня.

В процесі досягнення головної цілі системи C^0 (забезпечення ефективного використання сил і засобів різного призначення) при впливі зовнішніх впливів, які мають в основному ситуаційний, нестохастичний характер, перед органами управління $(m - 1)$ -го ранга $\{X^{v_{m-1}}\}$, $1 \leq v_{m-1} \leq \ell_{m-1}$, виникає множиною цілей і завдань по ліквідації відхилень, приводячих до невиконанню відповідних цілей $\{C^{v_{m-1}}\}$. Множиною цілей і завдань, стоячих перед органами управління $\{X^{v_{m-1}}\}$, можна представити в вигляді множиною графів $G_{C_0}^{m-1} = \{G_{C_0}^{v_{m-1}}\}$ цілей і завдань оперативного управління:

$$G_{C_0}^{v_{m-1}} = \left(\bar{C}_0^{v_{m-1}}, h \right), \quad (2)$$

де $\bar{C}_0^{v_{m-1}} = \left(C_0^{v_{m-1},0}, \bar{C}_0^{v_{m-1},1}, \dots, \bar{C}_0^{v_{m-1},n-1} \right)$ – кортеж, складаючий з множиною цілей оперативного управління різних рангів; $C_0^{v_{m-1},0}$ – головна ціль оперативного управління v -го органу управління $(m - 1)$ -го ранга; $\bar{C}_0^{v_{m-1},f} = \left(C_0^{v_{m-1},f,1}, \dots, C_0^{v_{m-1},f,\ell_f} \right)$; $0 \leq f \leq n - 1$; f – ідентифікатор ранга в графі

$G_{C_0}^{v_{m-1}}$; ℓ_f – число цілей f -го ранга (всюди, де не буде порушуватися однозначність розуміння, будемо розраховувати значення як $n^{v_{m-1}}$ і $f^{v_{m-1}}$); $h = \{h_{jg}^f\}$, $0 \leq f \leq n - 2$; $1 \leq j \leq \ell_f$; $1 \leq g \leq \ell_{f+1}$ – множиною дуг графа, представляючих собою відношення умов досягнення цілей верхнього рівня.

В випадку крайньої необхідності керівники ОУ різних рівнів вправі самостійно приймати рішення, наприклад, такі як:

- проведення евакуаційних заходів з небезпечних зон;
- зупинка діяльності організацій, знаходячихся в зонах надзвичайних ситуацій;
- проведення аварійно-спасательних робіт на об'єктах і територіях організацій, знаходячихся в зонах надзвичайних ситуацій; об обмеженні доступу людей в небезпечні зони;
- розбронювання резервів матеріальних ресурсів організацій, знаходячихся в зонах бeдствія, в цілях ліквідації надзвичайних ситуацій;
- використання в порядку, установленному законодавством, засобів зв'язу, транспортних засобів і іншого майна організацій, знаходячихся в зонах надзвичайних ситуацій;
- залучення до проведення аварійно-спасательних робіт нештатних і громадських аварійно-спасательних формувань, а також спасателів, не входячих в склад вказаних формувань, при наявності у них документів, підтверджуючих їх атестацію на проведення аварійно-спасательних робіт;
- залучення на добровільній основі населення до проведення неотложних робіт, а також окремих громадян, не являючихся спасателями, з їх згоди, до проведення аварійно-спасательних робіт;
- прийняття других необхідних заходів, обумовлених розвитком надзвичайних ситуацій і ходом робіт по їх ліквідації.

Однак, в будь-якому випадку ці дії необхідно оперативно згодовувати з ОУ других рівнів, можливо і не пов'язаних в (1).

Для цього будь-яка вершина в графі $G_{C_0}^{v_{m-1}}$ може бути з'єднана ребрами $h_{j\Theta}^{f^{v_{m-1}}Z^{\alpha_{m-1}}}$ ($0 \leq f \leq n^{(v)} - 1$; $0 \leq Z \leq n^{(\alpha)} - 1$; $1 \leq j \leq \ell_f$; $1 \leq \Theta \leq \ell_Z$) з однією або кількома вершинами в графі $G_{C_0}^{\alpha_{m-1}}$; $\alpha \neq v$; $0 \leq \alpha, v \leq \ell_Z$.

Поставимо в відповідність кожній зв'язі $h_{j\Theta}^{f^{v_{m-1}}Z^{\alpha_{m-1}}}$ множиною завдань перед органом управління найбільшого ранга структури G_X , якому

подчинены органы управления (ОУ) $X^{v_{m-1}}$ и $X^{\alpha_{m-1}}$. Это задачи по координации ОУ $X^{v_{m-1}}$ и $X^{\alpha_{m-1}}$ при решении ими задач оперативного управления.

Таким образом, может быть построен граф координирующих целей и задач

$$G_{СК} = (\bar{C}_K, S_K), \quad (3)$$

где $\bar{C}_K = (\bar{C}_K^0, \bar{C}_K^1, \dots, \bar{C}_K^{m-2})$ – кортеж, состоящий из множества координирующих целей органов управления различных рангов; $\bar{C}_K^0 = (C_{K1}^0, C_{K2}^0, \dots, C_{K\ell_0}^0)$ – множество координирующих целей органа управления X^0 в графе G_X ; $\bar{C}_K^{ij} = (C_{K1}^{ij}, C_{K2}^{ij}, \dots, C_{K\ell_t}^{ij})$ ($1 \leq j \leq \ell_i$; $0 \leq i \leq m-2$; $1 \leq t \leq \ell_t$) – множество мощности ℓ_t координирующих целей управления X_j^i (всюду, где не нарушается однозначность понимания, под t понимаем t^{ij});

$$S_K = S_K^T \cup S_K^{TA}, S_K^T \cap S_K^{TA} = \emptyset, \quad (4)$$

где $S_K^T = \{S_{K\omega\tau\gamma}^{Tij}\}$ ($1 \leq t, \omega \leq \ell_t$; $0 \leq i, \tau \leq m-2$; $1 \leq j \leq \ell_i$; $1 \leq \gamma \leq \ell_t$; $1 \leq v \leq \ell_{m-1}$) – множество неориентированных отношений между t -й и ω -й координирующими целями соответственно j -го органа управления i -го ранга и γ -го органа управления τ -го ранга при решении задач оперативного управления v -м органом управления $(m-1)$ -го ранга; $S_K^{TA} = \{S_{K\omega\tau\gamma}^{TAij}\}$ – множество ориентированных (транзитивно-антисимметричных) отношений между соответствующими координирующими целями.

Построение координирующей цели C_{Kt}^{ij} релевантной связи $h_{j\Theta}^{f^{v_{m-1}}Z^{\alpha_{m-1}}}$ в графе $G_{C_0}^{v_{m-1}}$ осуществляется следующим образом: в графе G_X определяется орган управления с наименьшим значением ранга i , с которым органы α и v ранга $(m-1)$ транзитивно связаны отношениями $R = \{r_{jv}^i\}$.

Внешняя среда, воздействуя на объект управления и изменяя количество ресурсов, выделенных для достижения целей оперативного управления $\bar{C}_0^{v_{m-1}}$ v -му органу управления $(m-1)$ -го ранга, требует от органа управления X_j^i , транзитивно связанного с v отношениями $R = \{r_{jv}^i\}$, решения задач \bar{C}_Π по перераспределению ресурсов между органа-

ми управления с индексами v и α ($1 \leq v, \alpha \leq \ell_{m-1}$, $v \neq \alpha$) $(m-1)$ -го ранга.

Построим граф целей и задач оперативного перераспределения ресурсов

$$G_{СП} = (\bar{C}_\Pi, S_\Pi), \quad (5)$$

где $\bar{C}_\Pi = (\bar{C}_\Pi^0, \bar{C}_\Pi^1, \dots, \bar{C}_\Pi^{m-2})$ – кортеж, состоящий из множества целей по перераспределению ресурсов; $\bar{C}_\Pi^0 = (C_{\Pi 1}^0, C_{\Pi 2}^0, \dots, C_{\Pi \ell_t}^{m-2})$ ($1 \leq t \leq \ell_t$) – множество целей по перераспределению ресурсов, стоящих перед органом управления X^0 .

Соответственно для органов управления X_j^i

$$\bar{C}_\Pi^{ij} = (C_{\Pi 1}^{ij}, C_{\Pi 2}^{ij}, \dots, C_{\Pi \ell_t}^{ij}). \quad (6)$$

$$S_\Pi = S_\Pi^T \cup S_\Pi^{TA}, \quad (7)$$

$$S_\Pi^T \cap S_\Pi^{TA} = \emptyset,$$

$S_\Pi^T = \{S_{\Pi\omega\tau\gamma}^{Tij}\}$ ($1 \leq t, \omega \leq \ell_t$; $0 \leq i, \tau \leq m-2$; $1 \leq j \leq \ell_i$; $1 \leq \gamma \leq \ell_t$; $1 \leq v \leq \ell_{m-1}$) – неориентированные отношения между t -й и ω -й целями по перераспределению ресурсов соответственно j -го ОУ i -го ранга и γ -го ОУ τ -го ранга для обеспечения решения задач оперативного управления ОУ v_{m-1} ; $S_\Pi^{TA} = \{S_{\Pi\omega\tau\gamma}^{TAij}\}$ – множество транзитивно-антисимметричных отношений между соответствующими целями по перераспределению ресурсов.

Для дальнейшей формализации процесса определим однотипные органы управления следующим образом:

ОУ $(m-1)$ -го ранга с индексами v и α ($1 \leq v_{m-1}, \alpha \leq \ell_{m-1}$) однотипны, если они имеют изоморфные графы $G_{C_0}^{v_{m-1}}$ и $G_{C_0}^{\alpha_{m-1}}$ целей и задач оперативного управления.

На множестве органов управления

$$\bar{X}^{m-1} = \{X^{v_{m-1}}\}, \quad 1 \leq v \leq \ell_{m-1},$$

можно задать разбиение $\{U_1, U_2, \dots, U_{\ell_y}\}$ множества \bar{X}^{m-1} по типам ($y = \overline{1, \ell_y}$ – множество типов органов управления $(m-1)$ -го ранга).

Таким образом, для задания множества целей и задач оперативного управления на структуре G_X достаточно определить:

– графы целей и задач оперативного управления каждого из типов органов управления $(m-1)$ -го ранга;

– множество ребер $h = \left\{ h_{j\Theta}^{f_{m-1} v_{m-1}} Z^{\alpha_{m-1}} \right\}$, определяющих зависимость выполнения целей оперативного управления органов $X^{\alpha_{m-1}}$ и $X^{v_{m-1}}$, которые не являются однотипными;

– множество указателей $d = \left\{ d_{fj}^{v_{m-1} \alpha_{m-1}} \right\}$, устанавливающих возможные отношения по перераспределению ресурсов, находящихся в распоряжении ОУ α_{m-1} , органу управления v_{m-1} для достижения им цели оперативного управления j ранга f в графе $G_{C_0}^{v_{m-1}}$;

– отображения:

$$F_{\Pi} : d \rightarrow \bar{C}_{\Pi}; F_K : h \rightarrow \bar{C}_K. \quad (8)$$

Тогда можно считать, что структура W целей и задач оперативного управления задана на графе G_X организационной структуры, если определен кортеж из шести элементов

$$M = \left\langle G_X, G_{C_0}^{m-1}, G_{CK}, G_{СП}, F_{\Pi}, F_K \right\rangle. \quad (9)$$

Она представляет собой объединение подструктур W_v , задаваемых на графе G_X при решении задач оперативного управления каждым из органов управления $(m-1)$ -го ранга, т.е.

$$W = \bigcup_{v=1}^{m-1} W_v. \quad (10)$$

Выводы

Разработанная обобщенная математическая модель процесса оперативного управления ликвидацией последствий ЧС глобального характера (1) – (10) позволяет учесть жесткие требования к оперативности принятия решений, распределенность привлекаемых сил и средств и иерархию органов управления.

Направление дальнейших исследований связано с моделированием процессов функционирования органов управления ликвидацией последствий ЧС при решении задач оперативного управления.

Список литературы

1. Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1099-98-%D0%BF>.
2. Адаменко М.І. Надзвичайні ситуації регіонального та державного рівня на спеціалізованих об'єктах. Профілактика та локалізація / М.І. Адаменко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПІС, 2006. – Вип. 4 (53). – С. 32-34.
3. Adamenko M. The Stochastic Model of Reliability for City Public Transport Operation / M. Adamenko, O. Palant // Молодой учёный. – Чита, 2013. – № 8 (55). – С. 67-69.
4. Шантала В.Г. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций / В.Г. Шантала, В.Ю. Радоуцкий, В.В. Шантала. – Белгород: БГТУ, 2010. – 166 с.
5. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П.Г. Белов. – М.: Академия, 2003. – 512 с.
6. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций / И.У. Ямалов. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 288 с.
7. Ваганов П.А. Катастрофология / П.А. Ваганов. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. – 124 с.
8. Разработка математических моделей развития чрезвычайных ситуаций техногенного характера и снижения риска их возникновения / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, А.А. Горюнова и др. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2010. – № 4-2. – С. 251-258.
9. Архипова Н.И. Управление в чрезвычайных ситуациях. 3-е изд., перераб. и доп. / Н.И. Архипова, В.В. Кульба. – М.: Рос. гос. гуманит. ун-т, 2012. – 352 с.
10. Diestel R. Graph Theory, Electronic Edition / R. Diestel. – NY: Springer-Verlag, 2005. – 422 с.

Поступила в редколлегию 2.02.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.И. Адаменко, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.

УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЛІКВІДАЦІЄЮ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ГЛОБАЛЬНОГО ХАРАКТЕРУ

Н.Г. Кучук

У статті розроблена узагальнена математична модель процесу оперативного управління ліквідацією наслідків надзвичайних ситуацій глобального характеру, яка дозволяє врахувати жорсткі вимоги до оперативності ухвалення рішень, розподеленість сил, що привертаються, і засобів і ієрархію органів управління.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, математична модель, ліквідація наслідків.

GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF OPERATIVE CONTROL PROCESS LIQUIDATION OF GLOBAL CHARACTER EXTRAORDINARY SITUATIONS CONSEQUENCES

N.G. Kuchuk

The generalized mathematical model of operative control process liquidation of global character extraordinary situations consequences is developed in the article, which allows to take into account hard requirements to the efficiency of making a decision, state of attracted forces distribution and facilities and hierarchy of control organs.

Keywords: extraordinary situation, mathematical model, liquidation of consequences.