

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. Большинство 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 спасателських і других неотложных работ в зоні надзвичайної ситуації являється основою управління; його приймає і організує виконання керівник органу управління відповідного рівня (согласованно с вишестоящим рівнем в ієрархії (1)). Рішення включає наступні основні елементи:

- краткі висновки з оцінки обстановки;
- замисел дій;
- задачі підчиненим формуванням, частиям і підрозділам;
- заходи безпеки;
- організацію взаємодії;
- забезпечення дій формувань.

Поскольку при проведенні ліквідації ГЧС ієрархія цілей і задач завжди збігається з адміністративною ієрархією [2, 9], поставим в відповідність графу G_X ізоморфний йому граф $G_C(\bar{C}, N)$ с множеством вершин \bar{C} , представляючим собою цілі управління, стоящі перед відповідними органами управління в графі G_X , и $N = \{h_{jv}^i\}$ – множество дуг графа G_C , которые определяют отношения условий достижения целей верхнего уровня.

В процесі досягнення головної цілі системи C^0 (забезпечення ефективного використання сил і засобів різного призначення) при впливі зовнішніх впливів, маючих в основному ситуаційний, нестохастический характер, перед органами управління $(m - 1)$ -го ранга $\{X^{v_{m-1}}\}$, $1 \leq v_{m-1} \leq \ell_{m-1}$, возникает множество целей и задач по ліквідації відхилень, приводящих к невыполнению соответствующих цілей $\{C^{v_{m-1}}\}$. Множество цілей і задач, стоящих перед органами управління $\{X^{v_{m-1}}\}$, можно представить в виде множества графов $G_{C_0}^{m-1} = \{G_{C_0}^{v_{m-1}}\}$ цілей і задач оперативного управління:

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

где $\bar{C}_0^{v_{m-1}} = \left(C_0^{v_{m-1},0}, \bar{C}_0^{v_{m-1},1}, \dots, \bar{C}_0^{v_{m-1},n-1} \right)$ – кортеж, состоящий из множества цілей оперативного управления различных рангов; $C_0^{v_{m-1},0}$ – главная цель оперативного управления v -го органа управления $(m - 1)$ -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 – идентификатор ранга в графе

$G_{C_0}^{v_{m-1}}$; ℓ_f – число цілей f -го ранга (всюду, где не будет нарушаться однозначность понимания, будем рассчитывать значение как $n^{v_{m-1}}$ и $f^{v_{m-1}}$); $h = \{h_{jg}^f\}$, $0 \leq f \leq n - 2$; $1 \leq j \leq \ell_f$; $1 \leq g \leq \ell_{f+1}$ – множество дуг графа, представляючих собою отношения условий достижения цілей верхнего уровня.

В случае крайней необходимости руководители ОУ различных уровней вправе самостоятельно принимать решения, например, такие как:

- проведение эвакуационных мероприятий из опасных зон;
- остановка деятельности организаций, находящихся в зонах надзвичайных ситуацій;
- проведение аварийно-спасателських работ на объектах и территориях организаций, находящихся в зонах надзвичайных ситуацій; об ограничении доступа людей в опасные зоны;

– разбронирование резервов материальных ресурсов организаций, находящихся в зонах бедствия, в целях ліквідації надзвичайных ситуацій;

– использование в порядке, установленном законодательством, средств связи, транспортных средств и иного имущества организаций, находящихся в зонах надзвичайных ситуацій;

– привлечение к проведению аварийно-спасателських работ нештатных и общественных аварийно-спасателських формирований, а также спасателей, не входящих в состав указанных формирований, при наличии у них документов, подтверждающих их аттестацию на проведение аварийно-спасателських работ;

– привлечение на добровольной основе населения к проведению неотложных работ, а также отдельных граждан, не являющихся спасателями, с их согласия, к проведению аварийно-спасателських работ;

– принятие других необходимых мер, обусловленных развитием надзвичайных ситуацій и ходом работ по их ліквідації.

Однако, в любом случае эти действия необходимо оперативно согласовывать с ОУ других уровней, возможно и не связанных в (1).

Для этого любая вершина в графе $G_{C_0}^{v_{m-1}}$ может быть соединена ребрами $h_{j\Theta}^{f_{v_{m-1}}Z^{\alpha_{m-1}}}$ ($0 \leq f \leq n^{(v)} - 1$; $0 \leq Z \leq n^{(\alpha)} - 1$; $1 \leq j \leq \ell_f$; $1 \leq \Theta \leq \ell_Z$) с одной или несколькими вершинами в графе $G_{C_0}^{\alpha_{m-1}}$; $\alpha \neq v$; $0 \leq \alpha, v \leq \ell_Z$.

Поставим в соответствие каждой связи $h_{j\Theta}^{f_{v_{m-1}}Z^{\alpha_{m-1}}}$ множество задач перед органом управления наибольшего ранга структуры G_X , которому

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 $h_{j\emptyset}^{f^{v_{m-1}}Z^{\alpha_{m-1}}}$ 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

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

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; $\bar{C}_\Pi^0 = (C_{\Pi 1}^0, C_{\Pi 2}^1, \dots, C_{\Pi \ell_t}^{m-2})$ ($1 \leq t \leq \ell_t$) – 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

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

можно задать разбиение $\{U_1, U_2, \dots, U_{\ell_y}\}$ множества \bar{X}^{m-1} по типам ($y = \bar{1}, \bar{\ell}_y$ – 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 $h = \left\{ h_{j\Theta}^{f^{v_{m-1}} Z^{\alpha_{m-1}}} \right\}$, 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

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

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.

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

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.: ХУПС, 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. гуманитар. 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.