

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Випуск 19

Зареєстрований Міністерством юстиції
25 травня 2010 року
Серія КВ № 16672-5244ПР

Затверджено до друку Вченою радою
НУЦЗ України
(протокол № 8 від 27.03.2014 р.)

Харків 2014

УДК 331.101+351.861+504.054+539.3+550.34.034+614.8+614.83+
614.84+614.841+614.841.332+618.3.016+625.032+681.5

Проблеми надзвичайних ситуацій [Текст] : зб. наук. пр. / НУЦЗ
України. – Вип. 1 (2005)– . – Харків : НУЦЗУ, 2014– .
Вип. 19. – 2014. – 171 с. – 300 прим.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ: д-р техн. наук, проф. *Ю.О. Абрамов*
(гол. ред.), д-р техн. наук, проф. *В.А. Андронов*, д-р техн. наук,
проф. *О.Є. Басманов*, д-р техн. наук, проф. *Е.В. Бодянський*, д-р техн.
наук, ст. наук. співр. *Ю.П. Ключка*, д-р техн. наук, проф. *В.М. Комяк*,
д-р техн. наук, проф. *В.І. Кривцова*, д-р техн. наук,
проф. *Л.М. Куценко*, д-р техн. наук, проф. *Е.Ю. Прохач*, д-р техн. на-
ук, доц. *С.В. Росоха*, д-р техн. наук, доц. *О.М. Соболев*, д-р техн. наук,
проф. *В.В. Соловей*, д-р техн. наук, ст. наук. співр. *О.А. Тарасенко*
(заст. гол. ред.), д-р техн. наук, проф. *І.Б. Туркін*, д-р техн. наук, проф.
І.А. Чуб, д-р фіз.-мат. наук, проф. *С.В. Яковлев*

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко
д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко

Іл. – 36, табл. – 11

Видання засноване у 2005 р. та включене до Переліку наукових
фахових видань України (постанова № 1-05/3 від 14.04.2010 р.).

Наведені результати наукових досліджень теоретичних та при-
кладних проблем, пов'язаних із попередженням надзвичайних ситуа-
цій техногенного та природного характеру, локалізацією та ліквідаці-
єю їх наслідків, зокрема на транспорті. Розглядаються питання моні-
торингу та прогнозування явищ, технологічних процесів тощо, які
обумовлюють виникнення та розвиток надзвичайних ситуацій, попе-
редження, локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій, розроблен-
ня моделей, які описують процеси виникнення, розвитку та локалізації
надзвичайних ситуацій, а також процесів їх ліквідації, оптимізації
проведення аварійно-рятувальних робіт, пов'язаних з надзвичайними
ситуаціями.

Матеріали призначені для інженерно-технічних робітників циві-
льного захисту, професорсько-викладацького складу, докторантів,
ад'юнктів, слухачів, курсантів та студентів вищих навчальних закла-
дів.

© Національний університет цивільного захисту України, 2014

*Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ,
Тищенко Е.А., канд. техн. наук, доц.,
ЧИПБ им. Героев Чернобыля,
Борисова А.С., адъютант, ЧИПБ им. Героев Чернобыля*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНЫХ ФАКТОРОВ СИСТЕМЫ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ

Получена модель выходного сигнала датчика первичных факторов в виде реакции на тест-сигнал, который представляет собой импульс электрического тока

Ключевые слова: датчик первичных факторов, терморезистивный чувствительный элемент, математическая модель

Постановка проблемы. Повышение эффективности эксплуатации систем ослабления последствий аварий обуславливает сокращение времени, затрачиваемого на проведение регламентных работ. В этой связи одной из проблем является получение информации о количественных характеристиках как таких систем, так и ее составляющих непосредственно на охраняемых объектах.

Анализ последних исследований и публикаций. Получение информации о количественных характеристиках одного из основных элементов систем ослабления аварий, которыми являются датчики первичных факторов, предусмотрено ДСТУ EN 54 – 5:2003, который распространяется лишь на автономные испытания таких датчиков. Все методы объектовых испытаний таких датчиков, в частности, предусмотренные стандартами BS 5839, NFPA 72, APSAD R7 и DIN 14675: 2003 – 11, ориентированны лишь на проверку работоспособности датчиков и не обеспечивают получение информации об их количественных характеристиках.

В [1] разработаны алгоритмы определения динамического параметра одной из разновидностей датчиков первичных факторов – пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом. Однако перечень тест-сигналов, ис-

пользуемых для формирования алгоритмов объектовых испытаний, ограничен.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является разработка математического обеспечения для идентификации динамического параметра датчика первичных факторов системы ослабления последствий аварий.

Если в качестве такого датчика применяется пожарный извещатель с терморезистивным чувствительным элементом, то для формирования тест-сигнала может быть использовано выражение

$$i = I \sin \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)], \quad (1)$$

где I, t_0 – максимальное значение импульса электрического тока, протекающего через чувствительный элемент, и длительность импульса электрического тока соответственно; $1(t), 1(t - t_0)$ – функции Хэвисайда.

Тогда для тест-сигнала будут иметь место

$$i^2 = I^2 \sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} [1(t) - 1(t - t_0)]. \quad (2)$$

Выражение (2) можно записать следующим образом

$$i^2 = I^2 \sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} 1(t) - I^2 \sin^2 \frac{\pi(t - t_0 + t_0)}{2t_0} 1(t - t_0), \quad (3)$$

а с учетом того, что имеет место

$$\begin{aligned} \sin \frac{\pi(t - t_0 - t_0)}{2t_0} &= \sin \frac{\pi(t - t_0)}{2t_0} \cos \frac{\pi}{2} + \cos \frac{\pi(t - t_0)}{2t_0} \sin \frac{\pi}{2} = \\ &= \cos \frac{\pi(t - t_0)}{2t_0} \end{aligned}, \quad (4)$$

то выражение (2) принимает вид

$$i^2 = I^2 \sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} 1(t) - I^2 \cos^2 \frac{\pi(t-t_0)}{2t_0} 1(t-t_0). \quad (5)$$

Применим к (5) интегральное преобразование Лапласа, в результате чего получим

$$\begin{aligned} L[i^2] &= I^2 \left(L \left[\sin^2 \frac{\pi t}{2t_0} 1(t) \right] - L \left[\cos^2 \frac{\pi(t-t_0)}{2t_0} 1(t-t_0) \right] \right) = \\ &= 0,5 I^2 \left(L \left[\left(1 - \cos \frac{\pi t}{t_0} \right) 1(t) \right] - L \left[\left(1 + \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} \right) 1(t-t_0) \right] \right) = (6) \\ &= 0,5 I^2 \left[\left(\frac{\pi}{t_0} \right)^2 - \left[2p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] \exp(-pt_0) \right] \left[p \left[p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] \right]^{-1}, \end{aligned}$$

где L – оператор интегрального преобразования Лапласа [2].

Терморезистивный чувствительный элемент датчика первичных факторов при протекании через него электрического тока имеет передаточную функцию вида [1]

$$\omega(p) = K\tau(\tau p + 1)^{-1}, \quad (7)$$

где K, τ – коэффициент передачи и динамический параметр соответственно.

Тогда реакция такого чувствительного элемента на тест-сигнал (5) будет определяться выражением

$$\theta(t) = 0,5 K I^2 \tau L^{-1} \left[\begin{array}{l} \left[\left(\frac{\pi}{t_0} \right)^2 - \left[2p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] \exp(-pt_0) \right] \times \\ \times \left[p \left[p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0} \right)^2 \right] (\tau p + 1) \right]^{-1} \end{array} \right], \quad (8)$$

где L^{-1} – оператор обратного интегрального преобразования Лапласа.

Введем обозначения

$$F(p) = F_1(p)[F_2(p) + F_3(p)], \quad (9)$$

где

$$F_1(p) = (\tau p + 1)^{-1}; F_2(p) = \left(\frac{\pi}{t_0}\right)^2 \left[p \left[p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0}\right)^2 \right] \right]^{-1}; \quad (10)$$

$$F_3(p) = \left[\left[2p^2 - \left(\frac{\pi}{t_0}\right)^2 \right] \exp(-pt_0) \right] \left[p \left[p^2 + \left(\frac{\pi}{t_0}\right)^2 \right] \right]^{-1}.$$

С учетом того, что имеет место [2]

$$f_1(t) = L^{-1}[F_1(p)] = \tau^{-1} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right);$$

$$f_2(t) = L^{-1}[F_2(p)] = 0,5 \left(1 - \cos \frac{\pi t}{t_0} \right); \quad (11)$$

$$f_3(t) = L^{-1}[F_3(p)] = 0,5 \left(1 + \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} \right),$$

в соответствии с теоремой Бореля [3] можно записать

$$\theta(t) = 0,5KI^2\tau \int_0^t f_1(t-\beta) [f_2(\beta) + f_3(\beta)] d\beta. \quad (12)$$

После подстановки (11) в (12) окончательно получаем

$$\theta(t) = 0,5KI^2 \left[1 - \frac{(\pi\tau)^2 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + \pi t_0 \tau \sin \frac{\pi t}{t_0} + t_0^2 \cos \frac{\pi t}{t_0}}{t_0^2 + (\pi t)^2} \right] \times$$

$$\times 1(t) + \left[1 - \frac{[(\pi t)^2 + 2t_0^2] \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right)}{t_0^2 + (\pi\tau)^2} \right]$$

$$\left. \frac{\pi t_0 \tau \sin \frac{\pi(t-t_0)}{t_0} + t_0^2 \cos \frac{\pi(t-t_0)}{t_0}}{t_0^2 + (\pi\tau)^2} \right] 1(t-t_0). \quad (13)$$

Выражение (13) описывает реакцию терморезистивного чувствительного элемента датчика первичных факторов на протекание по нему импульса электрического тока в форме (1). В этом выражении принято обозначение

$$\theta(t) = T(t) - T_0, \quad (14)$$

где $T(t), T_0$ – усредненная по объему температура терморезистивного чувствительного элемента и температура окружающей среды соответственно.

На рис. 1 в качестве примера приведены зависимости (1), (2) и (13) для значений $\tau = 0,5$ с, $t_0 = 4$ с.

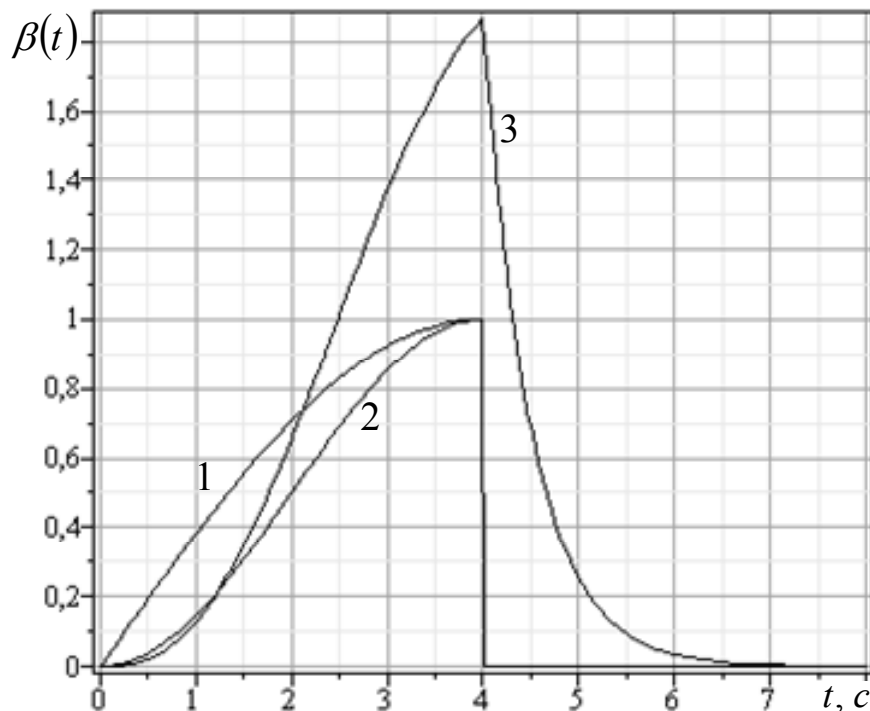


Рис. 1 – Эпюры сигналов: 1 – iI^{-1} ; 2 – $(iI^{-1})^2$; 3 – $\theta(0,5KI^2\tau)^{-1}$.

Следует отметить, что при априори известных параметрах тест-сигнала I и t_0 , а также при заданном статическом параметре чувствительного элемента датчика первичных факторов K математическая модель (13) позволяет сформировать алгоритм идентификации динамического параметра чувствительного элемента τ . Такой алгоритм должен базироваться на решении уравнения относительно этого динамического параметра.

Выводы. Получено математическое описание реакции терморезистивного чувствительного элемента датчика первичных факторов системы ослабления последствий аварий на тест-сигнал, представляющий собой импульс электрического тока, который описывается выражением (1). Эта математическая модель является исходной информацией для формирования алгоритма идентификации динамического параметра датчика первичных факторов при реализации их объектовых испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Методы определения постоянной времени тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, В.М. Гвоздь. – Х.: НУГЗУ, 2013. – 151с.
2. Бейтмен Г. Таблицы интегральных преобразований. Преобразование Фурье, Лапласа, Меллина / Г. Бейтмен, А. Эрдейн. – М.: Наука, 1969. – 344с.
3. Абрамов Ю.А. Операционное исчисление / Ю.А. Абрамов, Н.Ю. Нохвидович, П.С.Черняков. – Х.: ХИСИ – ХВПТУ, 1993. – 36с.

Абрамов Ю.А., Тищенко О.О., Борисова Г.С.

Математичне забезпечення об'єктових випробувань датчиків первинних факторів системи послаблення наслідків аварій

Отримана модель вихідного сигналу датчика первинних факторів у вигляді реакції на тест-сигнал, який представляє собою імпульс електричного струму

Ключові слова: датчик первинних факторів, терморезистивний чутливий елемент, математична модель

Abramov Y.A, Tishchenko E.A, Borisova A.S.

Mathematical provision of on-site testing of sensors primary factors mitigating the consequences of accidents

The resulting model output signal sensor primary factors in the form of a response to the test signal is a pulse of electrical current

Key words: sensor primary factors, thermoresistivity pickup, mathematical model

УДК 614.84

Алышанов Г.Н., адъюнкт, НУГЗУ,

Тарасенко А.А., д-р техн. наук, вед. науч. сотр., НУГЗУ

**ВАРИАНТЫ ДЕЙСТВИЯ РУКОВОДИТЕЛЯ ЛИКВИДАЦИИ
АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ НА АКВАТОРИИ МОРЯ**

Рассмотрены варианты действия руководителя ликвидации аварийного разлива нефти на акватории моря при проведении операции по локализации группы нефтяных пятен боновыми заграждениями в условиях ограниченности ресурсов

Ключевые слова: разливы нефтепродуктов, ликвидация, боны, выпуклая оболочка

Постановка проблемы. Наибольшую опасность для окружающей среды представляют собой аварийные разливы нефти (АРН) вблизи побережий, поскольку ликвидация последствий таких разливов с поверхности воды в открытом море и удаление нефтепродуктов с береговой зоны принципиально различаются как методами, так и величиной трудо- и финансовых затрат [1]. В такой ситуации недопущение загрязнения берега является первоочередной задачей, что указывает на предпочтительность проведения процесса локализации разлива в открытом море.

В результате дрейфа нефтяного загрязнения в условиях неоднородного векторного поля скорости приповерхностных течений, характерного для прибрежной зоны, а также и ветров, происходит трансформация загрязнения, приводящая к разбиению нефтяного пятна на группу более мелких пятен. В

силу ограниченности ресурсов локализация группы пятен отличается от локализации отдельного пятна.

В связи с этим, актуальным является вопрос принятия управленческого решения о выборе тактики локализации разлива, а именно о целесообразности локализации всей группы пятен либо о локализации разлива отдельными подгруппами.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [2] предложен критерий принятия решений о целесообразности локализации группы пятен одним боновым заграждением, при этом не рассмотрен вопрос о целесообразности локализации пятен по отдельности либо по более мелким группам.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является отработка возможных сценариев локализации нефтяного поля боновыми заграждениями при наличии прогноза динамики загрязнения в условиях ресурсных ограничений.

Пусть имеется изображение группы из M нефтяных пятен на акватории [3]. Данное изображение может быть векторизовано, т.е. в локальной системе координат с известным масштабом контур загрязнения может быть задан массивом A вершин ломаных, аппроксимирующих контуры отдельных нефтяных пятен

$$A = \begin{bmatrix} [(x_1^1; y_1^1), (x_2^1; y_2^1), \dots, (x_{N_1-1}^1; y_{N_1-1}^1), (x_{N_1}^1; y_{N_1}^1)] \\ [(x_1^2; y_1^2), (x_2^2; y_2^2), \dots, (x_{N_2-1}^2; y_{N_2-1}^2), (x_{N_2}^2; y_{N_2}^2)] \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ [(x_1^M; y_1^M), (x_2^M; y_2^M), \dots, (x_{N_M-1}^M; y_{N_M-1}^M), (x_{N_M}^M; y_{N_M}^M)] \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где M - количество зафиксированных пятен; $(x_n^m; y_n^m)$ - n -ая вершина ($n = 1 \dots N_m$) положительно определенного контура $\bar{\Omega}_m$ m -ого пятна Ω_m ($m = 1 \dots M$); N_m - количество вершин контура m -ого пятна. В силу замкнутости границы первая и последняя точки каждого контура совпадают, т.е.

$(x_1^m; y_1^m) = (x_{N_m}^m; y_{N_m}^m) \forall m = 1 \dots M$. При этом $\Omega_i \bigcap_{i \neq j}^M \Omega_j = \emptyset$. Также

будем полагать, что $\Omega = \bigcup_{m=1}^M \Omega_m$.

Локалізація групи пятен сводиться к окруженію ее боновим заграждением. Область, ограниченную k -ым боном обозначим как Θ_k , а границу данной области как $\bar{\Theta}_k$. Требование минимизации длины $\bar{\Theta}_k$ (при неизменности информации (1) о группе пятен в процессе ее локалізації) требует задания $\bar{\Theta}_k$ в виде выпуклой оболочки (ВО) [4].

Используем допущение о том, что эволюция нефтяного поля осуществляется лишь под действием природных факторов (течений и ветров) и на нее не влияет сам процесс локалізації. Кроме того, в приведенной модели не учтена динамика постановки боновых заграждений (рассмотренная ранее в работе [5]).

Располагая информацией (1), руководитель ликвидации АРН должен принять решение о целесообразности локалізації всей группы пятен одним боновим заграждением заданной длины L либо осуществлять локалізацию всех возможных m подгрупп боновими заграждениями, такими, что

$$\sum_{k=1}^m L_k \leq L.$$

Подход в решении данной задачи базируется на использовании прямого перебора разбиений множества пятен на все возможные подмножества.

Количество $S(M, m)$ неупорядоченных разбиений M -элементного множества на m непустых подмножеств ($m = 1 \dots M$) задается [6] числом Стирлинга второго рода из M по m

$$S(M, m) = \frac{1}{m!} \sum_{j=0}^m (-1)^{m+j} j^M C_m^j. \quad (2)$$

Так, например, в случае $M=3$ имеет место множество $\{\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3\}$. В этом случае возможны следующие разбиения (использован алгоритм разбиения [6])

1. $S(3,1) = 1 : \{\{\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3\}\};$
2. $S(3,2) = 3 : \{\{\Omega_1, \Omega_2\}, \{\Omega_3\}\}, \{\{\Omega_1, \Omega_3\}, \{\Omega_2\}\}, \{\{\Omega_2, \Omega_3\}, \{\Omega_1\}\}; \quad (3)$
3. $S(3,3) = 1 : \{\{\Omega_1\}, \{\Omega_2\}, \{\Omega_3\}\}.$

Количество B_M всех возможных вариантов разбиений задается числом Белла [6]

$$B_M = \sum_{m=1}^M S(M, m). \quad (4)$$

Для приведенного примера $B_3 = 5$.

Количество K_M всех непустых подмножеств множества из M элементов

$$K_M = \sum_{k=1}^M C_M^k - 1 = 2^M - 1. \quad (5)$$

Для приведенного примера $K_3 = 7$.

Таким образом, необходимо построить K_M выпуклых оболочек $\bar{\Theta}_k$ для всех подмножеств, после чего организовать согласно (3) объединение данных ВО. Так, например, для подмножества $\{\{\Omega_1, \Omega_2\}, \{\Omega_3\}\}$ будет иметь место объединение $\bar{\Theta}_{1,2} \cup \bar{\Theta}_3$. При этом необходимо выполнение условия непересечения областей, т.е. $\Theta_{1,2} \cap \Theta_3 = \emptyset$, исключающее пересечение ВО (или их включения одной в другую).

Очевидно, что в условиях реальной обстановки число пятен может быть большим, что обуславливает высокую размерность решаемой задачи. В связи с этим очевидна необходимость создания соответствующего программного обеспечения.

На рис. 1 проиллюстрирован вариант разбиения нефтяного поля, представленного тремя пятнами (в разные моменты времени). Также на данном рисунке приведены все возможные варианты выпуклых оболочек для каждого из пяти вариантов.

Ниже на рис. 2 представлена динамика суммарного периметра $\Sigma P_{\cup \bar{\Theta}}$ объединения выпуклых оболочек для каждого из вариантов разбиения. По рисунку видно, что в самом начале с момента фиксации нефтяного поля наиболее предпочтительным с точки зрения минимизации длины боновых заграждений являлся вариант совместной локализации всех трех пятен, однако по мере дрейфа пятен более удачным становится вариант совместного окружения пятен №1 и №3 и отдель-

ного окружения пятна №2. В том случае, если суммарная длина боковых заграждений, имеющих в наличии, не превышает 1800 м, имеется временное окно для реализации данных сценариев локализации в интервале времени 0-95 мин и 0-100 мин, соответственно. Возможны также два других варианта локализации - отдельно каждого из пятен (20-68 мин) и в вариант совместного окружения пятен №1 и №2 и отдельно – пятна №3 (15-62 мин). Все прочие варианты локализации при такой длине боковых заграждений не могут быть реализованы.

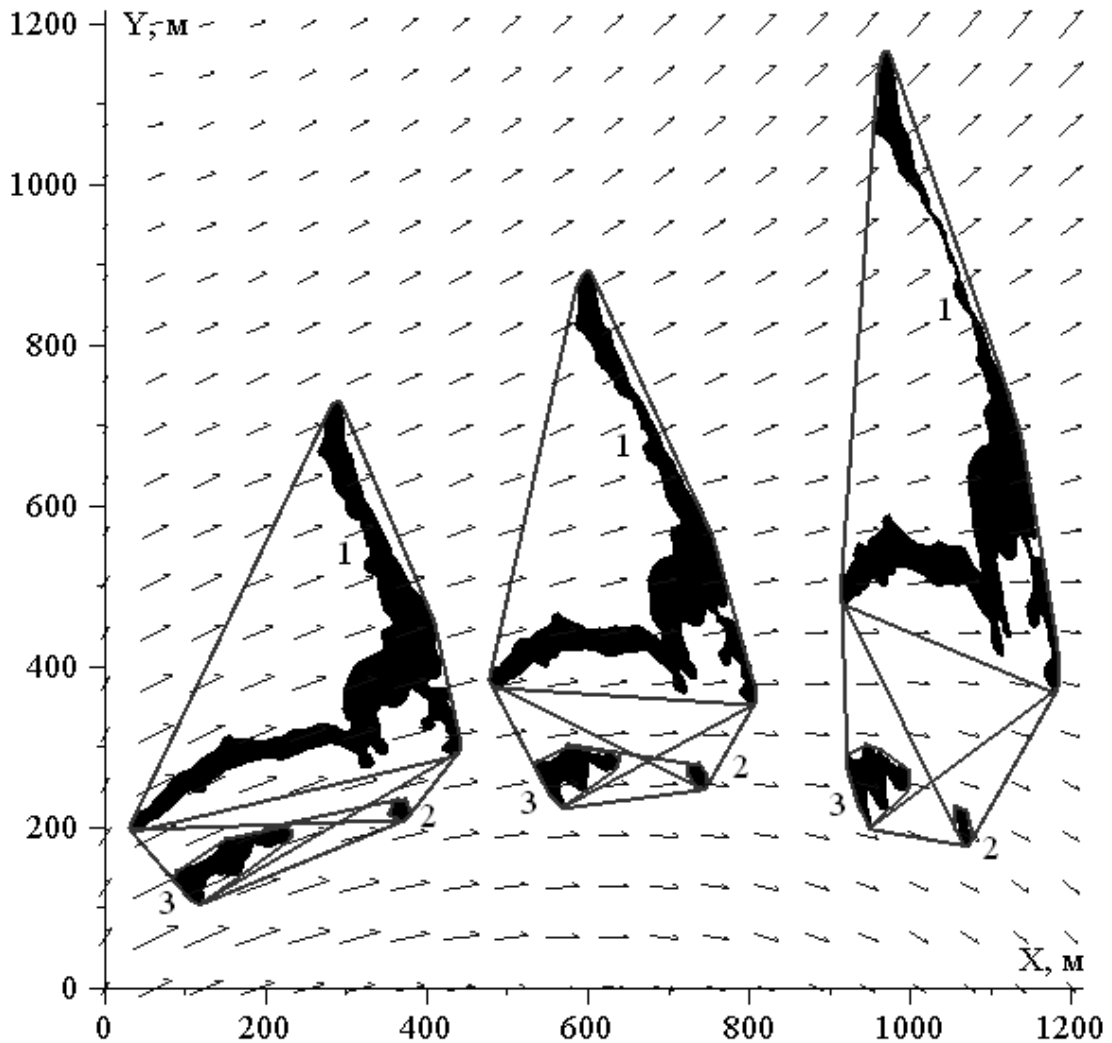


Рис. 1 – Динамика нефтяного поля и выпуклых оболочек возможных разбиений

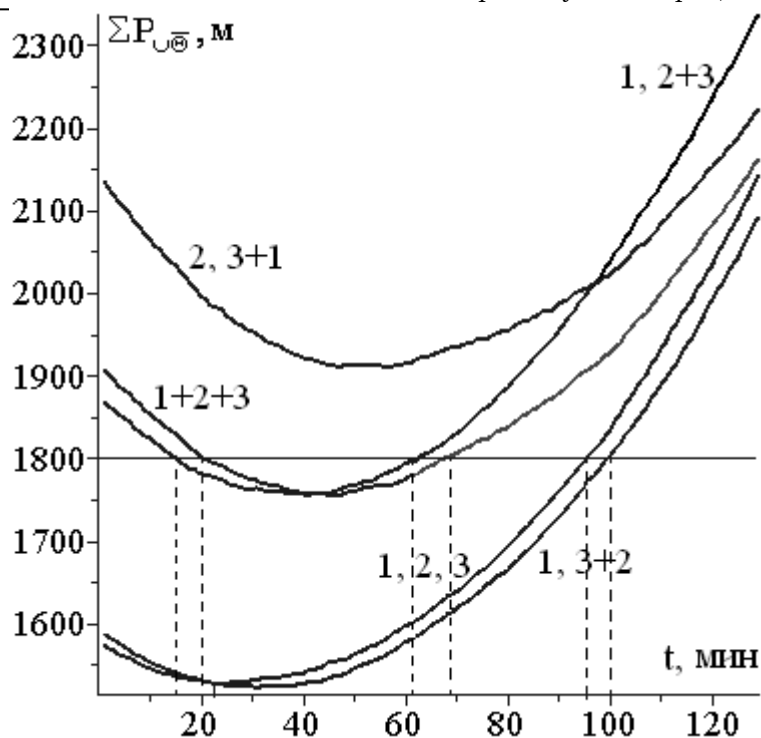


Рис. 2 – Динамика суммарного периметра об'єднання випуклих оболонок

Выводы. Рассмотрены варианты действий аварийных подразделений по локализации нефтяного загрязнения на акватории моря. На конкретном примере получено множество всех возможных сценариев локализации в отсутствие ограничений. Предложены возможные сценарии локализации нефтяного поля боновыми заграждениями при наличии прогноза динамики загрязнения в условиях ресурсных ограничений на длину бонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамедов А.К. Каспию быть чистым / А.К. Мамедов. – Баку: ОКА Офсет, 2004. – 415 с.
2. Алышанов Г.Н. Принятие решения о возможности локализации разливов нефтепродуктов на акватории моря / Г.Н. Алышанов, А.А. Тарасенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2013. – Вип. 17. С. 11-17.
3. Процессор распознавания нефтяных пятен. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/> р. 378.
4. Препарата Ф. Вычислительная геометрия: Введение / Ф. Препарата, М. Шеймос. - М.: Мир, 1989. - 478 с.

5. Алышанов Г.Н. Модель локализация боновыми заграждениями разлива нефти на акватории моря / Г.Н. Алышанов, А.А. Тарасенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2013. – Вип. 18. С. 9-16.
6. Федоряева Т.И. Комбинаторные алгоритмы: Учебное пособие / Т.И. Федоряева. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т., 2011. - 118 с.

Тарасенко О.А., Алышанов Г.Н.

Варіанти дії керівника ліквідації аварійного розливу нафти на акваторії моря

Розглянуті варіанти дії керівника ліквідації аварійного розливу нафти на акваторії моря при проведенні операції з локалізації групи нафтових плям боновими загородженнями в умовах обмеженості ресурсів

Ключові слова: розливи нафтопродуктів, ліквідація, бони, опукла оболонка

Tarasenko AA., Alishanov G.N.

Options of head of oil spill liquidation on the sea water area

The variants of the actions of the head of oil spill liquidation on the sea water area during the operation of the localization of the group of oil slicks bon in resource-limited settings are considered

Key words: oil spills, liquidation, bon, convex cover

*Беликов А.С., д-р техн. наук, зав. каф., ГВУЗ «ПГАСА»,
Касьян А.И., канд. техн. наук, нач. СГЗ,
ГУ ГСЧС Украины в Харьковской обл.,
Рагимов С.Ю., канд. техн. наук, ст. преп., НУГЗУ,
Чаплыгин А.С., нач. ГПЧС,
ГУ ГСЧС Украины в Харьковской обл.,
Шаломов В.А., канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГАСА»,
Маладыка И.Г., канд. техн. наук, доц.,
ЧИПБ им. Героев Чернобыля*

**ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ (АСР) И РЕМОНТНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ (РВР) РАБОТ В УСЛОВИЯХ
ОБРУШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

Введены обобщенные понятия заблаговременной и оперативной разведки. Предложено рациональным комплектованием боевого расчета аварийно-спасательными устройствами и механизированным оборудованием обеспечивать эффект уменьшения потерь времени.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, спасательные работы, математическое моделирование, теория графов

Постановка проблемы. Анализ ведения АСР и РВР в экстремальных условиях показал, что до настоящего времени на современном уровне научно обоснованный подход к решению задач принятия решений практически не использовался.

Анализ последних исследований и публикаций. Статистика ЧС при ликвидации негативных последствий и их анализ [1, 2] показывает, что до настоящего времени не в полной мере решены вопросы, позволяющие с учетом машин и оборудования выполнять поставленные задачи в сроки, отведенные нормативными документами. При этом не уделяется достаточного внимания вопросам сокращения потерь времени и действий подразделений с учетом оценки положения на объектах ЧС.

Постановка задачи и ее решение. Согласно проведенного анализа [1, 2] было установлено, что эффективность и

Беликов А.С., Касьян А.И., Рагимов С.Ю.,
Чаплыгин А.С., Шаломов В.А., Маладыка И.Г.

безопасность выполнения АСР зависит от целого ряда факторов, в том числе оперативности принятия решений при развертывании сил и средств. При этом важная роль отводится проведению разведке и оценке уровня и возможных последствий при ЧС на объектах. Поэтому возникла необходимость рассмотрения обобщенной модели действий специальных подразделений при ликвидации ЧС и оценки вероятных исходов от принятых решений. Нами были рассмотрены действия подразделений при разведке в виде двух уровней: действия в период заблаговременной разведки (первоначальный этап решения задачи сокращения потерь времени); действия во время оперативной разведки зоны ЧС и самого выполнения АСР (второй этап решения задачи).

Соответственно, предложенные оба этапа проведения работ в экстремальных условиях были нами адаптированы как понятия о двух видах разведки (по аналогии с заданиями разведки пожара):

- заблаговременная разведка, то есть заранее, для случаев гипотетически возможных ЧС;
- оперативная разведка, которая оперативно осуществляется в процессе решения тактических задач локализации, ликвидации ЧС и ее последствий.

На рис.1 схематично представлен этот подход.

Пунктиром показан условно «идеальный» случай, когда существенные потери времени отсутствуют (f_0); - непрерывная ступенчатая кривая соответствует реальным условиям наличия потерь времени при проведении АСР (f_g).

Соответственно, реальные суммарные затраты времени спасателями в период заблаговременной разведки, а также во время оперативных действий в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) можно выразить следующим образом

$$\tau_{\Sigma} = (\tau_0 + \delta\tau_0) + (\tau_1 + \delta\tau_1) + (\tau_2 + \delta\tau_2) + (\tau_3 + \delta\tau_3) + (\tau_4 + \delta\tau_4). \quad (1)$$

где: τ_0 и $\delta\tau_0$ – продолжительность заблаговременной разведки плюс потери времени до получения сообщения о ЧС (показатели качества работ по обслуживанию объекта, по созданию и обновлению тактико-технического обеспечения и др.); τ_1 и $\delta\tau_1$ – время в пути следования на место возникновения ЧС плюс потери, возникающие при нерациональном выборе мар-

Теория принятия решений при проведении аварийно-спасательных (АСР) и ремонтно-восстановительных (РВР) работ в условиях обрушения строительных конструкций

шрута следования и средств доставки; τ_2 и $\delta\tau_2$ – время, затрачиваемое на оперативное развертывание подразделений в зоне ЧС плюс потери времени, связанные с недостатком сил и средств и/или с несогласованностью действий при их избытке; τ_3 и $\delta\tau_3$ – время локализации и ликвидации ЧС плюс непроизводительные потери времени при этом; τ_4 и $\delta\tau_4$ – время и потери времени при свертывании подразделений и возвращении на место расположения подразделений.

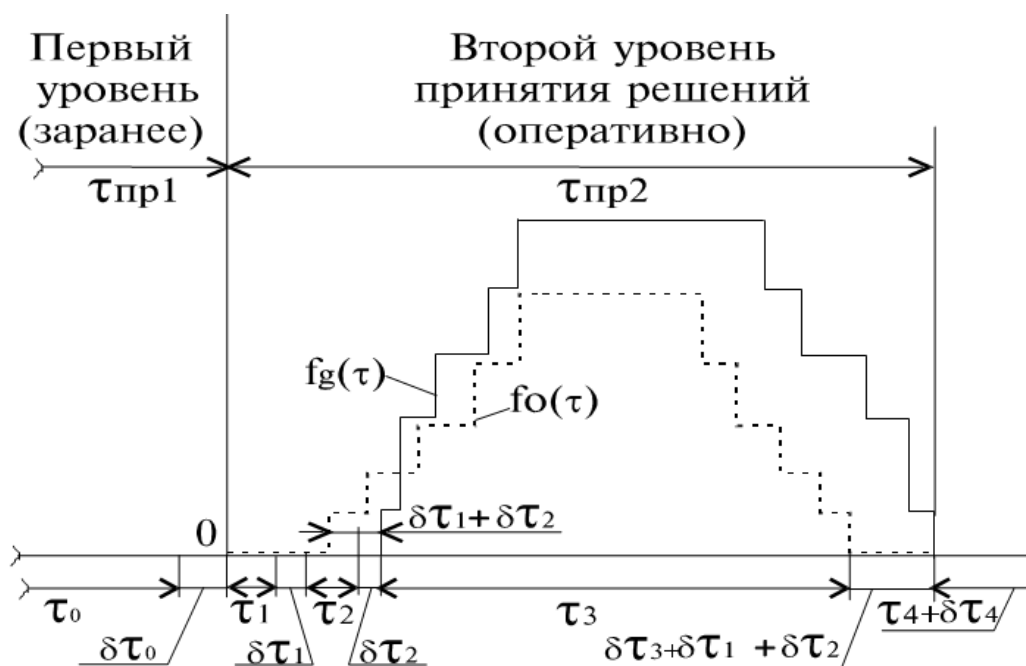


Рис. 1 – Схема кинетики выполнения работ специальными подразделениями в периоды заблаговременной и оперативной разведок

В соответствии с предложенной диаграммой рис.1 нами были введены обобщенные понятия заблаговременной и оперативной разведки зоны возникновения ЧС следующим образом.

Заблаговременная разведка – это работа аварийно-спасательных подразделений, которая представляет собой совокупность мероприятий проводимых работниками спецподразделений и спасателями по получению, изучению и непрерывному уточнению данных об обстановке в процессе профилактического надзора зоны гипотетической (предполагаемой) ЧС вплоть до ее возникновения.

Понятие оперативной разведки. Это непрерывный сбор оперативных данных о текущей обстановке на объекте ЧС, начиная с момента получения тревожного сообщения ЧС и заканчивая моментом времени, наступающим в период свертывания аварийно-спасательных подразделений и возвращения в место их дислокации.

Соответственно введенным определениям становится понятным, какое значение для успешного проведения АСР имеет факт сокращения потерь времени на обоих этапах разведки. В этом смысле все составляющие, связанные с сокращением этих потерь времени, являются основополагающими при создании и использовании так названного нами тактико-технического обеспечения, которое, как будет показано далее, и создается на основе теории принятия оптимальных (рациональных) решений.

На стадии заблаговременной разведки (при проектировании и строительстве объекта, его профилактическом обслуживании и др.) спасательными подразделениями изучается и уточняется существующая обстановка на объекте охраны. В частности, в подразделениях аварийно-спасательной службы создаются соответствующие планы и карточки для спецподразделений (в том числе карточки взрывопожаробезопасности).

То есть заблаговременно разрабатывается тактико-техническое обеспечение к предположительным действиям спасателей на случай возникновения ЧС. Здесь же разрабатываются и маршруты следования к объектам охраны, комплектование спецподразделений аварийно-спасательными устройствами и механизированным оборудованием, выбор автотранспортных средств их доставки.

Учитывая, что на основе полученных данных о состоянии объекта, категории ведения работ по масштабам и опасности, оперативно принимаются меры, направленные на обеспечение успешного проведения АСР в экстремальных условиях с использованием технических средств.

Сюда следует включать и мероприятия по повышению огнестойкости объекта, по снижению пожарной, взрывной и химической опасности, по обеспечению надежной связи, накоплению запасов огнетушащих и нейтрализующих средств и

др. Все это с успехом может быть использовано во всех подразделениях ГСЧС.

С общей для спасательных подразделений целью важно максимально приблизиться к возможной обстановке гипотетической ЧС за счет детальной проработки перечисленных вопросов. При этом следует оценивать возможности применения традиционных и нетрадиционных средств ведения АСР и их доставки к объекту, в том числе использование новейших, единичных образцов, еще не апробированных.

Если учесть, что с момента получения сообщения о возникновении ЧС на объекте до момента ее ликвидации оперативные решения принимает руководитель АСР, то тогда их правильность (оптимальность или рациональность) можно охарактеризовать суммарными потерями времени $\Sigma \delta \tau_m$, при условии безопасного проведения работ.

Этим потерям времени могут сопутствовать утраты человеческих жизней и материальных ресурсов, которые в мировой практике ЧС принято оценивать путем сравнения двух интегральных сумм (2), вычисленных для функций:

f_g – в пределах реально затраченного времени на боевые действия,

f_0 – в пределах времени оперативных действий «без потерь»

$$\Delta Ц = K \left(\int f_g(\tau) d\tau - \int f_0(\tau) d\tau \right), \quad (2)$$

где $\Delta Ц$ – цена потерь, зависящих от функции K ; K – критерий оценки качества АСР и РВР, учитывающий требования их безопасного проведения для спасаемых и спасателей.

Рис.2 дает представление о том, как можно осуществлять прогноз и оценку качества проведения АСР.

Оси абсцисс и ординат (рис.2) соответствуют: ось абсцисс – это решения (условно обозначены точками), которые может принимать руководитель АСР, т.е. альтернативы – A_i . Ось ординат – это результаты принятых решений (область исходов – I_j), которые возникают при выборе той или иной из альтернатив A_i . Здесь следует различать:

$P(I+1)$ – вероятность исходов успешного проведения АСР, когда ликвидирована ЧС и спасены человеческие жизни, хотя и имеются материальные потери;

$P(I_0)$ – вероятность исходов, когда ЧС ликвидирована, имеются материальные потери и пострадавшие с различной степенью тяжести, которым оказана спасателями доврачебная помощь;

$P(I-1)$ – вероятность исходов неуспешной ликвидации ЧС, имеются и материальные потери и потери человеческих жизней.

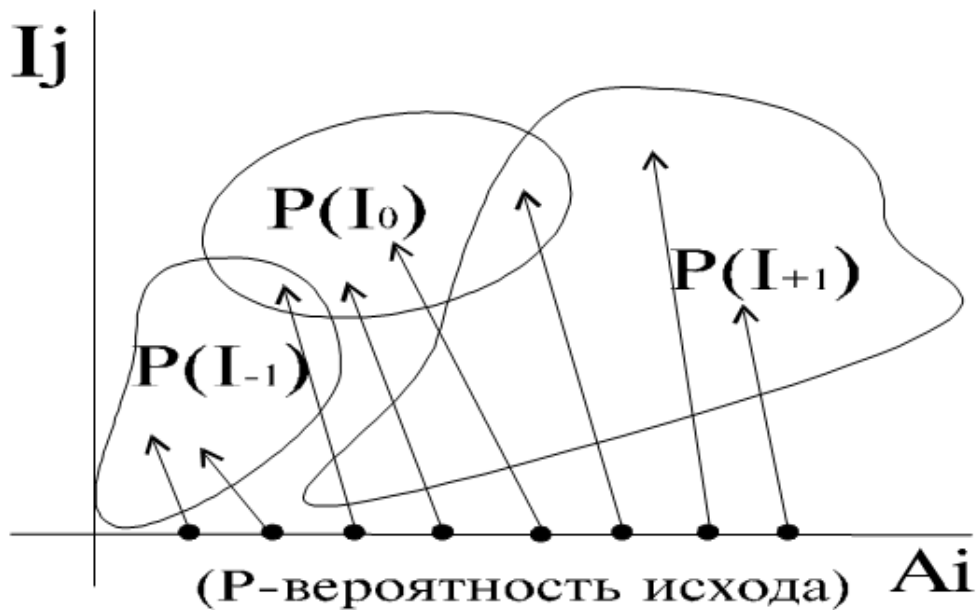


Рис. 2 - Связь принятых решений (A_i) с исходами (I_j) – положительными, нейтральными и отрицательными

Отметим, что в наиболее общем случае функция K характеризует нелинейность связи между $\Delta\Pi$ и τ . В первом приближении (оценочный вариант) полагают, что $K = 1$, т.е. функциональную связь между $\Delta\Pi$ и τ линеаризуют.

Так как в (1) все параметры измеряются в одной шкале – время, то для оценки качества принятого руководителем АСР решения используют так называемую агрегированную по потерям времени функцию цели, а так же с ней сопряженную функцию материальных потерь

$$\min_{\delta\tau_m} \sum \xi_m \cdot \delta\tau_m, \text{ и } \min_{\delta\tau_m} \Delta\Pi, \quad (3)$$

где ξ_m – весовой коэффициент важности каждого из критериев; ΔC – как и ранее, цена потерь.

Вместе с этим, ощутимого выигрыша во времени, а, следовательно, более существенного сбережения ресурсов и эффективного проведения АСР и РВР следует ожидать, если принятие решений осуществлять в соответствии с предложенным двухуровневым подходом к разведке зоны ЧС.

Выводы. Именно при решении оптимизационных задач тактико-технического выполнения работ подразделениями МЧС возникает потребность последовательного использования функций цели двух типов: качественных – на начальном (первом) уровне, при создании тактико-технического обеспечения заблаговременно ($\delta\tau_0 \rightarrow 0$); и количественных – на последующем (втором) уровне уже принятия оперативных решений и их выполнения ($\delta\tau_1, \delta\tau_2, \delta\tau_3 \rightarrow 0$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Харари Ф. Теория графов: Пер. с англ. / Под ред. Г. П. Гаврилова. – М.: Мир, 1973. – 300 с.
2. Розен В. В. Цель – оптимальность – решение (математические модели принятия оптимальных решений) / Розен В. В. – М. : Радио и связь, 1982. – 168 с.
3. Касьян О. І. Підвищення безпеки аварійно-відновлювальних робіт з ліквідації наслідків обвалення будівельних конструкцій: автореф. дис. на здобуття наукового ступеню к.т.н.: спец. 05.26.01 «Охорона праці» / О. І. Касьян – Дн –ськ, 2010. – 24 с.

Беликов А.С., Касьян О.І., Рагимов С.Ю., Чаплигин О.С., Шаломов В.А., Маладика І.Г.

Теорія прийняття рішень при проведенні аварійно-рятувальних (АРР) та ремонтно-відновлювальних (РВР) в умовах руйнування будівельних конструкцій

Введені узагальнені визначення завчасної та оперативної розвідки. Запропоновано раціональним комплектуванням бойового розрахунку аварійно-рятувальними пристроями та механізованим обладнанням забезпечувати ефект зменшення втрат часу.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, рятувальні роботи, математичне моделювання, теорія графів

Belikov A.S., Kasjan O.I., Ragimov S.Yu., Chaplygin O.S., Shalov V.A., Maladyka I.G.

Theory of decision-making during emergency rescue (ERW), repair and recovery (RRW) works in construction pearled

Introduced the concept of generalized early and operational intelligence. The rational manning combat crew rescue devices and mechanized equipment to ensure the effect of reducing the loss of time.

Key words: emergency rescue operations, mathematical modeling, graph theory

УДК 618.3.016

*Борисова Л.В., канд. юр. наук, викл., НУГЗУ,
Закора О.В., канд. техн. наук, ст. викл., НУЦЗУ,
Селенко Є.Є., викл., НУЦЗУ,
Фещенко А.Б., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

**ОЦІНКА ГОТОВНОСТІ ОПЕРАТОРА
ДО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ
ШВИДКОПЛИННИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**
(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Запропоновано метод оцінки ступеня готовності оператора до прийняття рішень при ліквідації швидкоплинних техногенних надзвичайних ситуацій. Введено індекси, що характеризують готовність оператора до прийняття рішень: індекс якості підготовки оператора, індекс реакції оператора. Запропоновані вирази для обчислення введених понять.

Ключові слова: прийняття рішень, швидкоплинні надзвичайні ситуації, ступінь готовності оператора

Постановка проблеми. Статистика свідчить, що стрімкий розвиток технологій в інформаційному суспільстві, неухильне зростання їх складності й обсягів виробництва супроводжує, на жаль, значний ріст кількості й масштабів техногенних надзвичайних ситуацій (ТНС) [1].

До особливого класу ТНС відносяться швидкоплинні техногенні надзвичайні ситуації (ШТНС), що характеризуються стрімкою зміною параметрів навколишнього середовища, потребують надзвичайно швидкого прийняття рішень і реагу-

вання на ситуацію при відсутності досить повної й достовірної інформації в умовах сильного психологічного стресу і непередбачуваності розвитку подій. Ціна неправильних дій у таких умовах може бути дуже високою: знищення дорогого устаткування, ресурсів, забруднення навколишнього середовища й загибель людей.

Таким чином, оцінка готовності оператора до прийняття рішень при ліквідації ШТНС є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [3] і [4] розглядається вплив неповних даних щодо ліквідації НС, які обумовлені відмінністю між судженням експерта (групи експертів) і оператора щодо лінгвістичного значення того або іншого параметра, що впливає на результат, у контексті певної ситуації, яка виникла.

Розглянемо роботи вчених в області оцінки готовності персоналу до прийняття рішень при ліквідації ШТНС.

1. Введено індекси готовності оператора до прийняття рішень:

У [5] доводять, що існуючі підходи не дають вичерпної інформації про готовність підрозділів до дій у надзвичайних ситуаціях, а параметри оцінки стану готовності не є об'єктивним.

У [6] розглянута система підготовки рятувальників, що припускає їхнє навчання й атестацію. У рамках атестації визначають рівень кваліфікації співробітника. Залежно від значення критеріїв оцінки особи, яка атестується, відносять до одного з п'яти класів.

У [7] запропонований підхід до оцінки надійності роботи оператора в системі "людина - машина". У роботі розглядається вплив людського фактора в складних системах прийняття рішень на прикладі предметної галузі залізничного транспорту. Автором розроблені моделі визначення показників, що характеризують надійність для різних умов роботи оператора на основі імовірнісного підходу.

Але у наведених роботах не оцінюють готовність оператора в контексті відмінності між оцінкою, точкою зору експерта (групи експертів) і оператора щодо лінгвістичних значень параметрів.

У [3, 8] запропоновано такий підхід до оцінки чутливості системи до помилок оператора:

1. Обчислюють значення індексів ранжирування, використовуючи вираз (1) або (2).

$$F_3(A, B) = \frac{\int_{a_1}^a \mu_A(a) da \int_{b_1}^b \mu_B(b) db}{c} \quad (1)$$

$$C = \int_{a_1}^{a_2} \mu_A(a) da \int_{b_1}^{b_2} \mu_B(b) db$$

$$a_1 = \inf_{a \in S(A)} a, a_2 = \sup_{a \in S(A)} a, b_1 = \inf_{b \in S(B)} b, b_2 = \sup_{b \in S(B)} b$$

$$F_4(A, B) = \int_0^{0,5} \max\{0, (1 - \mu_D(x))\} dx + \int_{0,5}^1 \mu_D(x) dx \quad (2)$$

$$D = A/(A+B)$$

2. Якщо в пункті (1) не була виявлена різниця між функціями приналежності експерта і оператора, то обчислюється значення індексу ранжирування розмиття за допомогою виразу (3).

$$\begin{aligned} I_c(A, B) &= 1 - \frac{\int_{a-a_L}^{a+a_R} \mu_A(a) da}{\int_{a-a_L}^{a+a_R} \mu_A(a) da + \int_{b-b_1}^{b+b_R} \mu_B(b) db} = \\ &= \frac{\int_{b-b_1}^{b+b_R} \mu_B(b) db}{\int_{a-a_L}^{a+a_R} \mu_A(a) da + \int_{b-b_1}^{b+b_R} \mu_B(b) db} = 1 - I_B(A, B) \end{aligned} \quad (3)$$

3. Якщо в виразах (1) і (2) була виявлена відмінність між функціями залежності експерта і оператора, то необхідно додати отримане значення в безліч *DIF*.

4. Обчислити значення чутливості для кожного відхилення функцій залежності оператора від експерта, використовуючи вираз (4).

$$M_i = |0,5 - DIF_i| \cdot 2 \quad (4)$$

Чисельне значення запропонованої оцінки завжди буде належати інтервалу $[0,1]$, і відповідно, є нормованим. Значення "одиниця" означає, що слід використовувати рекомендацію, генеровану системою нечіткого висновку. "Нульове" значення означає, що рекомендації системи довіряти не слід. Інше число із інтервалу $[0, 1]$ характеризує ступінь довіри до рекомендації системи. Як було зазначено, слід ураховати, що нечітко певних значень параметрів може бути кілька. Для цього слід виконати вищенаведену процедуру для таких параметрів і вибрати шляхом врахування кількох нечітко визначених параметрів мінімальне значення ступеня довіри. Одержане чисельне значення M характеризує оцінку "упевненості" у коректності рекомендації,

$$M = \min \{m_i\}, \quad i = 1 \dots n, \quad (5)$$

де M - значення результуючої числової характеристики, n - кількість вхідних параметрів, заданих нечітко, m_i - значення числової характеристики для i -го параметра, заданого нечітко.

Наведена методика не враховує розмірності і конкретно-го виду функцій приналежності, а отже, є універсальною.

Постановка завдання і його вирішення. Проаналізувавши наведені наукові роботи, сформулюємо алгоритм надання рекомендацій при ліквідації ШТНС [9]:

1. Аналіз усіх "невідмічених" правил (тобто тих, що ще не спрацювали) і формування безлічі, в яку входять правила з максимальним коефіцієнтом.

2. Якщо безліч, сформована на кроці 1, є порожньою, то кінець алгоритму не визначений.

3. Вибрати одне правило з отриманої безлічі (етап розв'язання конфлікту).

4. Уточнити значення параметрів, що фігурують у лівій частині правила, обраного на кроці 2.

5. Відзначити це правило як таке, що було використано.
6. Обчислення значення чутливості для поточного параметра.
7. Якщо в правій частині правила терміновий вираз, то запитати оператора, чи варто продовжувати процес.
8. Якщо отримана позитивна відповідь, то перейти до кроку 1, а якщо ні, то алгоритм не визначений.
9. Обчислення результуючого значення чутливості за допомогою виразу (5).

Для розв'язання конфлікту, що полягає в тому, яке саме правило прийняття рішення варто використовувати, розроблений такий алгоритм:

1. Скласти список із усіх головних атрибутів об'єктів, що втримуються в правилах продукції.
2. У випадку, якщо значення важливості атрибута відсутнє, то слід використовувати значення важливості об'єкта, до якого відноситься цей атрибут.
3. Відсортувати по убутанню.
4. Вибрати перший елемент зі списку. У випадку, якщо кілька елементів мають однакове значення, для обраних елементів виконати ще одне сортування (по убутанню значення важливості об'єкта), вибираючи знову перший елемент.
5. Активувати правило прийняття рішення, якої відповідає обраний елемент зі списку.

Даний алгоритм має квадратичну складність, що характеризує його продуктивність.

Проведемо оцінку готовності оператора до прийняття рішень. Як було зазначено, існує ряд причин можливої відмінності між оцінками або точкою зору експерта (групи експертів) і оператора щодо лінгвістичного значення того або іншого параметра, що впливає на результат, у контексті певної ситуації, яка виникла. Формально це - відмінності між функціями залежності оператора і експерта (групи експертів). Сутність підготовки оператора полягає в мінімізації відмінностей між відповідними функціями.

Для оцінки ступеня готовності оператора пропонується така послідовність кроків:

1. Для всіх вхідних параметрів ($i = 1 \dots n$) системи виконати кроки 2 – 4 алгоритму.

2. Для всіх лінгвістичних змінних ($j = 1 \dots m_i$) поточного параметра виконати кроки 3 – 4 алгоритму.

3. Побудувати поточну функцію приналежності оператора.

4. Виконати порівняння функції залежності оператора й функції залежності експерта (групи експертів) за допомогою одного з індексів ранжирування, результат порівняння зберегти в C_j .

5. Обчислити індекс якості роботи оператора за допомогою виразу

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_j^m \max(WO_j, WA_j) \cdot |0,5 - c_j|}{n}, \quad (6)$$

де WO_j і WA_j - відповідно ваги поточного об'єкта і атрибута об'єкта.

Для зручності значення ваги (і для атрибута, і об'єкта) - ціле число від 1 до 10 (якщо не задане, то 1). Таким чином, значення індексу підготовки оператора - дійсне значення з інтервалу $[0; 5]$. Чим ближче розраховане значення до 0, тим краще підготовлений оператор. Розраховане значення заносять у паспорт співробітника, який є внутрішнім службовим документом, з персональними даними співробітника, його загальною характеристикою, хронологією роботи, а також рядком чисельних оцінок, що характеризують рівень його кваліфікації.

Важливим показником підготовки є індекс реакції оператора, який характеризує здатність оператора швидко оцінювати обстановку, вводити значення параметрів і, як наслідок, ухвалювати рішення. Оскільки надзвичайні ситуації не є типовими, об'єктивною оцінкою є час, необхідний для визначення і введення значення параметра.

Для оцінки ступеня швидкості реакції оператора пропонуємо таку послідовність кроків:

1. Для усіх вхідних параметрів ($i = 1 \dots n$) системи виконати крок 2.

2. Виконати виміри часу, необхідного операторові для визначення значення поточного параметра.

3. Обчислити середньозважений час реакції оператора за допомогою виразу (одиниця виміру - секунда)

$$t_R = \frac{\sum_{i=1}^n \max(WO_j, WA_j) \cdot t_i}{n}, \quad (7)$$

де t_i - час реакції, тобто час визначення значення i -го атрибута об'єкта; та індекс реакції оператора за допомогою виразу (одиниця виміру - одиниця)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \max(WO_j, WA_j) \cdot \frac{t_i}{t_{io}}}{n}, \quad (8)$$

де t_{io} - зразковий час реакції, тобто час визначення значення i -го атрибута об'єкта.

Висновки. Таким чином, використання запропонованого методу оцінки ступеня готовності оператора до прийняття рішення при ліквідації ШТНС, що базується на введенні індексу якості підготовки оператора та індексу реакції оператора, дозволить значно пришвидшити прийняття рішень при відсутності досить повної і достовірної інформації в умовах непередбачуваності розвитку подій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шоботов В. М. Цивільна оборона: Навчальний посібник: Вид. 2-ге, перероб. / Шоботов В. М. - К.: Центр навчальної літератури, 2006. - 438 с.
2. Інформаційно-аналітична довідка про надзвичайні ситуації, що виникли на території України протягом 2012 року [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/opinfo/6361.html>.
3. Юхимчук С. В. Оцінка чутливості механізму виведення в системах підтримки прийняття рішень керівника ліквідації надзвичайних ситуацій / С. В. Юхимчук, // Інформаційні технології і комп'ютерна інженерія. - 2005. - № 3.- С. 120 - 123.
4. Юхимчук С. В. Оцінка впливу неповних вхідних даних на результати логічного виведення в системах підтримки прийняття рішень / С. В. Юхимчук, О. А. Шаригін //

- Інформації технологи і комп'ютерна інженерія. - 2007. - № 1. - С. 64 - 67.
5. Демин А. Ю. К оценке степени готовности подразделений поисково-спасательных служб / Демин А. Ю. // Технологии гражданской безопасности. - 2007. - № 2. - С. 62 - 62.
 6. Легошин В. Д. Научно-методические вопросы профессионального отбора и подготовки спасателей МЧС России / В. Д. Легошин, А. И. Запорожец // Технологии гражданской безопасности. - 2007. - № 1. - С. 16 - 21.
 7. Бантюкова С. О. Оцінка надійності діяльності оператора у системі "Людина - техніка" / С. О. Бантюкова // Експлуатація залізниць. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. - 2010. - вип. 113. - С. 51 - 56.
 8. Mesyura V. I. Improvement of fuzzy values ranking indexes for automation of man-caused swift-flowing emergencies liquidation / V. I. Mesyura, O. A. Sharygin // Nauka i studia. - 2013. - № 17 (85) - P. 11 - 16.
 9. Месюра В. І. Модель прийняття рішень для задач ліквідації швидкоплинних надзвичайних ситуацій / В. І. Месюра, //Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): Матеріали 1-ї Міжнародної науково - технічної конференції (10 - 13 травня 2011 р., Черкаси). - 2011. - С. 454.

Загора О.В., Селеенко Е.Е., Фещенко А.Б.

Оценка готовности оператора к принятию решений при ликвидации быстротечных чрезвычайных ситуаций

Предложен метод оценки степени готовности оператора к принятию решений при ликвидации быстротечных техногенных чрезвычайных ситуаций. Введены индексы, характеризующие готовность оператора к принятию решений: индекс качества подготовки оператора, индекс реакции оператора. Предложены выражения для вычисления введенных параметров.

Ключевые слова: принятие решений, быстротечные чрезвычайные ситуации, степень готовности оператора

Zakora O.V., Seleenko Y.Y., Feshchenko A.B.

Operator readiness estimating to take action in the liquidation fleeting technological emergencies

A method for estimating the degree of readiness of the operator to take action in the liquidation fleeting technological emergencies. Introduced indices, characterizing the willingness of the operator to take decisions: the index of the quality of training of the operator, the index operator response. Proposed an expression for calculating the input parameters.

Key words: decision making, fleeting emergency, readiness operator

Бугаєв А.Ю., преп., НУГЗУ
Соловей В.В., д-р техн. наук, нач. отдела,
ІПМаш НАН України

ВЫБОР УСЛОВНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ОГНЕННОГО ШАРА

Рассмотрена проблема выбора условной вероятности поражения человека тепловым излучением огненного шара с учетом существующих требований. Предложена модель, определяющая поражающие действия огненного шара с последующим выбором соответствующих значений пробит-функции.

Ключевые слова: поражение человека, условная вероятность поражения людей, пробит-функция, огненный шар, авария, чрезвычайная ситуация, модель, объект повышенной опасности, вычислительный эксперимент

Постановка проблемы. На современных химических и нефтехимических предприятиях хранятся и обращаются огромные количества энергонасыщенных веществ (мономерный винилхлорид, сжиженные газы, широкие фракции легких углеводородов и т.д.). Так на нефтехимических предприятиях, связанных с производством этилена, суммарный объем парков хранения СУГов достигает десятков тысяч тонн, при емкости отдельного резервуара 600 м³. В этих условиях аварии, связанные с возникновением пожаров, могут иметь наиболее катастрофические последствия для окружающей среды (ОС), обслуживающего персонала и рядом расположенных объектов.

Опасными факторами, характерными для аварий с пожарами на данных объектах, является тепловое воздействие и тепловое излучение при возникновении пожаров – вспышек, пожаров пролива горючих жидкостей и огненных шаров. Поэтому определение и выбор условной вероятности поражения является актуальной научной задачей

Анализ последних исследований и публикаций. Основным поражающим фактором огненного шара является

интенсивность теплового излучения огненного шара на человека [2,3].

$$q = E_f F_q \tau, \quad (1)$$

где q – интенсивность теплового излучения огненного шара, кВт/м², E_f – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м², F_q – угловой коэффициент облученности, τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования объектов повышенной опасности [8] пункт 19 трактует, что для определения риска на всех этапах его анализа допускается применение любых известных в научно-технической, справочной нормативной и методической литературе методов расчета и оценок опасностей при условии наличия обоснования их применения в соответствии с требованиями данной методики. Соответственно для определения вероятности поражения человека выбираются наиболее неблагоприятные данные для поражения человека.

Литературные источники дают неодинаковые расчетные формулы для определения условной вероятности поражения человека тепловым излучением огненного шара.

Согласно литературного источника [3]:

- условная вероятность ожога первой степени

$$P_r = -34,8 + 3,02 \ln(t_s q^{4/3}); \quad (2)$$

- условная вероятность ожога второй степени

$$P_r = -38,1 + 3,02 \ln(t_s q^{4/3}); \quad (3)$$

- условная вероятность ожога третьей степени

$$P_r = -34,8 + 3,02 \ln(t_s q^{4/3}). \quad (4)$$

Согласно литературного источника [5]:

- условная вероятность ожога первой степени

$$P_r = -39,8 + 3,02 \ln(t_s q^{4/3}); \quad (5)$$

- условная вероятность ожога второй степени

$$P_r = -43,1 + 3,02 \ln(t_s q^{4/3}); \quad (6)$$

- гибель людей без защитной одежды

$$P_r = -36,4 + 2,56 \ln(t_s q^{4/3}); \quad (7)$$

- гибель людей в защитной одежде

$$P_r = -37,2 + 2,56 \ln(t_s q^{4/3}). \quad (8)$$

Согласно литературного источника [6]:

- условная вероятность поражения человека

$$P_r = -14,9 + 2,56 \ln(t_s q^{1,33}). \quad (9)$$

Согласно литературного источника [7]:

- условная вероятность поражения человека

$$P_r = -14,9 + 2,56 \ln(t_s q^{1,33}), \quad (10)$$

где t_s – время существования огненного шара, с, q – интенсивность теплового излучения огненного шара.

Постановка задачи и ее решение. Многообразие существующих значений условной вероятности поражения человека поражающими факторами огненного шара требует их систематизации для более эффективного практического использования. Это и обусловило задачу работы - обоснование выбора условной вероятности поражения человека, на основе усовершенствования модели определения, поражающего фактора огненного шара на человека. Рассмотрим проблему оценки условной вероятности поражения человека интенсивностью теплового излучения огненного шара.

На практике при анализе вероятности поражения (гибели и/или причинения вреда здоровью) человека P в результа-

Выбор условной вероятности поражения человека в зависимости от поражающих факторов огненного шара

те воздействия поражающих факторов принято описывать нормальным законом распределения вероятности, аргументом которого пробит-функция Pr [4]

$$P_{nop} = f(P_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_r-5} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (11)$$

Верхней границей интеграла является пробит-функция, которая отображает связь между вероятностью поражения и дозой негативного влияния [3] и имеет вид

$$Pr = a + b \times \ln D. \quad (12)$$

где Pr – вероятностная единица (пробит-функция); a и b – эмпирические коэффициенты, которые характеризуют специфику и степень опасности вещества; D – величина поражающего эффекта.

Для оценки условной вероятности поражения человека была разработана программа «Огненный шар», с последующим прогоном ее через расчетно-компьютерную оболочку «Детектор опасности. Часть «Исследователь» [9].

Построены графические характеристики условной вероятности поражения человека, в зависимости от исходных данных (рис.1).

Результаты расчетов показывают, что при выбросе горючего вещества массой 254 т, при интенсивности теплового излучения огненного шара 12,91 кВт/м² и его воздействии в течении 39,94 сек. условная вероятность поражения человека составит:

- согласно расчетных формул 2,3,4 условная вероятность получения ожога первой степени -13%, получения ожога второй степени -16,7%, условная вероятность смертельного поражения -13,22%;

- согласно расчетных формул 5,6,7,8 условная вероятность получения ожога первой степени -18,34%, получения ожога второй степени -22%, условная вероятность гибели людей без защитной одежды -18,22%, условная вероятность гибели людей в защитной одежде -19,02%;

- согласно расчетной формулы 8, условная вероятность поражения человека тепловым излучением огненного шара составит 3,25%;

- согласно расчетной формулы 9, условная вероятность поражения человека тепловым излучением огненного шара составит 3,25%;

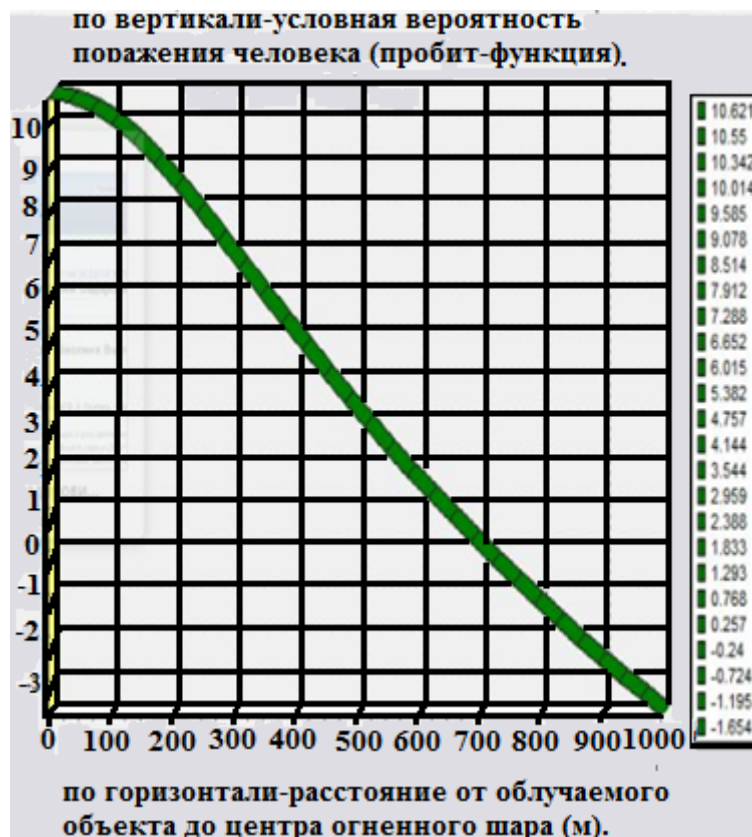


Рис. 1 – Зависимость условной вероятности поражения человека тепловым излучением от расстояния до облучаемого объекта

Результаты проведенного моделирования показывают, что для каждого конкретного случая необходимо проводить индивидуальный расчет по определению условной вероятности поражения человека с последующим выбором варианта с максимально возможной степенью поражения.

Выводы. На основе модели определения поражающих факторов огненного шара на человека, обоснован выбор пробит-функции, которая позволяет определить вероятность воздействия на человека поражающих факторов. При этом расчет условной вероятности поражения должен проводиться на основании индивидуальной оценки конкретной ситуации с учетом максимально возможной степени поражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000.–482 с.
2. Маршалл В. Основные опасности химических производств. - М.: Мир, 1989. – 672 с.
3. Стоєцький В.Ф. та ін. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки. Тернопіль: Видавництво Астон, 2005. – 408 с.
4. Беленький М.А. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. Л.: Медгиз, 1963.-152 с.
5. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. [Текст]. / П.Г. Белов – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 512с.
6. ГОСТ Р 123.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Текст]. – Введ. 2000-01-01. - М.: Госстандарт России 1998. – 77с.
7. НПБ 105.03 Нормы пожарной безопасности НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [Текст].- Введ. 2003-08-01. – М.: МЧС РФ 2003. – 28с.
8. Приказ министерства труда и социальной политики Украины от 04.12.2002 № 637 «Методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности »
9. Тесленко О.О., Михайлюк О.П., Олейник В.В. Досвід застосування імітаційного моделювання до ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки // Проблеми надзвичайних ситуацій: Зб.наук.пр.УЦЗ України.Вип.7. – Харків: УЦЗУ,2008. – С.139-144.
10. Шматко А.В. Применение пробит-функции для прогнозирования возможного поражения людей при авариях на химически опасных объектах [Текст]./ А.В. Шматко, С.С. Говаленков//Проблеми надзвичайних ситуацій. Вип. 6. – Харків: УЦЗУ, 2007. – С. 154-160.

Бугайов А.Ю., Соловей В.В.

Вибір умовної ймовірності ураження людини залежно від вражаючих факторів вогненної кулі

Розглянуто проблему вибору умовної ймовірності ураження людини тепловим випромінюванням вогненної кулі з урахуванням існуючих вимог. Запропоновано модель, що визначає вражаючі дії вогненної кулі з подальшим вибором відповідних значень пробит-функції.

Ключові слова: ураження людини, умовна ймовірність ураження людей, пробит-функція, вогненна куля, аварія, надзвичайна ситуація, модель, об'єкт підвищеної небезпеки, обчислювальний експеримент

Bugaev A.U., Solovey V.V.

Conditional risk of choice person depending on the damaging factors fireball

The problem of choice of the conditional probability of defeat human thermal radiation of the fireball with existing requirements. A model that defines the action affecting the fireball and then selecting the appropriate values probit function

Key words: human defeat, the conditional probability of hitting people, probit function, fireball, accident, emergency, model, high risk, computational experiment

УДК 614.841.332

*Грінченко Є.М., канд. техн. наук, докторант, НУЦЗУ,
Соколов Д.Л., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,
Федоренко Р.М., заст. нач. НІРЧ, НУЦЗУ*

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТІНКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРУ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

(представлено д-ром техн. наук Ключкою Ю.П.)

Розглядається задача визначення показників надійності елементів вертикального сталевих резервуару під час експлуатації. Проведені розрахунки ймовірності безвідмовної роботи як окремих елементів так і резервуару в цілому. Розроблено відповідні математичні моделі для визначення ймовірності безвідмовної роботи резервуару в експлуатації.

Ключові слова: показник, надійність, сталевий резервуар, безвідмовна робота

Постановка проблеми. Резервуарні парки є основним місцем зберігання нафти і нафтопродуктів в процесі їх переробки і транспортування. Велике скупчення легкозаймистих і горючих рідин на порівняно невеликій площі призводить до високого рівня пожежної небезпеки. У разі виникнення пожежі її тепловий вплив може призвести до займання або вибуху сусідніх резервуарів, тобто призвести до каскадного розвитку аварійної ситуації. Такі групові пожежі причиняють значні матеріальні втрати, наносять серйозний удар екологічній системі району, що прилягає до місця пожежі, і призводять до загибелі людей.

Враховуючи збільшення об'ємів споживання нафтопродуктів як в Україні, так і в світі, можна очікувати подальшого ускладнення ситуації. Небезпека збільшується і у зв'язку з ростом резервуарних парків і збільшенням об'ємів резервуарів.

Проектування резервуарних парків, їх протипожежний захист, дії пожежних підрозділів по захисту резервуарів регламентується рядом нормативних документів. Але, не зважаючи на заходи, що вживаються, кількість пожеж в резервуарних парках залишається практично незмінною протягом останніх 30 років. В середньому в резервуарних парках на те-

риторії СНД відбувається близько 12 великих пожеж на рік. З них в Україні відбувається 2 пожежі кожні 3 роки. При цьому кожна четверта пожежа має затяжний характер і закінчується повним вигоранням нафтопродукту. Це означає як недостатність сил та засобів або неефективне їх використання, так і недостатнє врахування різноманітних факторів, що впливають на розвиток пожежі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В процесі експлуатації вертикальні сталеві резервуари (РВС), що використовуються для зберігання нафти і нафтопродуктів, накопичують ті або інші пошкодження і поступово знижують свої технічні кондиції. Питання фізичного зносу елементів РВС найфундаментальніше розглядалися в роботах [1-3], питання підвищення надійності використовуваного парку РВС в роботах [4, 5], а розв'язок задачі надійності об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням умов експлуатації – в роботі [6]. Проте, управлінню надійністю резервуарів в експлуатації, що враховує можливі пошкодження, і дозволяє продовжувати терміни корисного використання, з погляду надійності, приділена недостатня увага.

Постановка завдання та його вирішення. Основним завданням статті є визначення терміну безпечної експлуатації стінки РВС з урахуванням дії впливу експлуатаційних чинників. Матеріал РВС розглядається як суцільне середовище, що підкоряється законам континуальної механіки. При цьому в кожній точці тіла (матеріалу) враховуються процеси накопичення і розвитку мікрodefektів за допомогою додаткового узагальненого параметра, який в загальному випадку може бути пов'язаний з властивостями матеріалу і/або параметрами відгуку механічної системи в даній точці. В будь-який момент часу резервуар може перебувати тільки в одному з двох можливих станів: працездатному і непрацездатному. Перехід з працездатного стану в непрацездатний розглядається як відмова, і ймовірність відмови або безвідмовності приймається в якості головного показника як проектної, так і експлуатаційної надійності.

Математична модель експлуатаційної надійності сталевих резервуарів будується на таких основних положеннях:

Визначення терміну безпечної експлуатації стінки вертикального резервуару для збереження нафтопродуктів в експлуатації

1. В якості відмови розглядається невиконання тієї чи іншої нормативної (базової) умови або обмеження, що визначає працездатність резервуара.

2. Всі відмови вважаються відновлюваними. Однак, одні з них, як правило, локальні відмови, відновлюються поточними ремонтами, інші, що є відмовами повними, відновлюються тільки шляхом проведення капітального ремонту.

3. У процесі всього періоду експлуатації проводяться періодичні ревізії технічного стану, які включають діагностику та виконання необхідних поточних або капітальних ремонтів.

В якості основних показників надійності [7] приймаються ймовірності $p(\tau)_i$ безвідмовності конструктивних елементів і резервуара в цілому, що визначаються як ймовірності виконання тієї чи іншої нормативної умови або обмеження після τ років експлуатації.

В будь-який момент часу надійність резервуара повністю характеризується комплексом наступних показників:

1. Ймовірність безвідмовності стінки резервуара за умовою міцності $P(\tau)_\sigma$

$$P(\tau)_\sigma = P(\tau)_{\sigma M} \cdot P(\tau)_\sigma^{cm}, \quad (1)$$

де $P(\tau)_{\sigma M}$ - ймовірність безвідмовності вузла сполучення за умовою міцності ; $P(\tau)_\sigma^{cm}$ - ймовірність безвідмовності циліндричної стінки за умовою міцності.

2. Ймовірність безвідмовності днища за загальним зносом (сукупність наявних дефектів і накопичених ушкоджень) $P(\tau)_{дн}$.

3. Те ж покрівлі $P(\tau)_{кр}$.

4. Ймовірність безвідмовності днища по нормативному обмеженню на локальні корозійні пошкодження.

5. Те ж покрівлі $P(\tau)_{loc кр}$.

Працездатний стан резервуара буде мати місце за умови, коли кожен з наведених вище показників $P(\tau)_i$ буде не нижче свого нормативного (у загальному випадку, що заздалегідь задається) значення $P(\tau)_i^*$. Порушення вказаної умови означає перехід резервуара в непрацездатний стан.

В якості узагальнюючих показників надійності можуть бути використані загальна ймовірність безвідмовності $P(\tau)$

резервуара (ймовірність знаходження резервуара в працездатному стані) після τ років експлуатації, його технічний T або залишковий ΔT терміни безпечної експлуатації. Значення $P(\tau)$ найбільш об'єктивно і надійно характеризується його нижньою оцінкою, яка визначається добутком

$$P(\tau) = \prod_{i=1}^{i=k} P(\tau)_i. \quad (2)$$

Величини T і ΔT доцільно визначати як мінімальну тривалість експлуатації резервуара до першого (чергового) капітального ремонту (до настання повної відмови) одного з його конструктивних елементів. Тобто $T = T_{i\min}$, і відповідно $\Delta T = \Delta T_{i\min}$.

Ймовірності безвідмовності $P(\tau)_i$ конструктивних елементів, які є складовими для визначення загальних показників надійності резервуара, визначаються математичними моделями зміни технічного стану конструктивних елементів протягом усього періоду їх життєвого циклу, починаючи від стадії проектування і до настання повної відмови.

Узагальнена умова міцності [8] представляється у вигляді нерівності

$$F \leq S, \quad (3)$$

де F це в загальному випадку ефект (напруження або зусилля), викликаний зовнішніми навантаженнями і впливами; S це несуча здатність конструкції.

Імовірність настання події, що складається в максимальному рівні заповнення резервуара нафтопродуктом і одночасно в максимально можливою для даного нафтопродукту щільності, настільки велика, що можна розглядати як величину детерміновану, рівну максимально можливому її значенню. Зазначені обставини призводять до того, що імовірнісне трактування умови (3) зводиться в даному випадку тільки до розгляду його правій частині, яка представляється в вигляді [8]

Визначення терміну безпечної експлуатації стінки вертикального резервуару для збереження нафтопродуктів в експлуатації

$$S(\tau) = \gamma(\tau)_c \cdot \Phi \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_m}, \quad (4)$$

де $\gamma(\tau)_c$ коефіцієнт, що є в загальному випадку функцією часу і враховує вплив на міцність всіх основних можливих для розглянутої конструкції дефектів виготовлення (виготовлення, транспортування та монтаж) і пошкоджень експлуатаційного характеру; Φ - геометрична характеристика перетину; R_{yn} - межа міцності; γ_m - коефіцієнт надійності за матеріалом, що враховує можливі відхилення характеристик міцності.

У загальному випадку коефіцієнт $\gamma(\tau)_c$ визначається як добуток складових

$$\gamma(\tau)_c = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n \cdot \xi(\tau)_1 \cdot \xi(\tau)_2 \cdot \dots \cdot \xi(\tau)_n, \quad (5)$$

де коефіцієнти η_i є коефіцієнтами впливу на несучу здатність тих чи інших, типових для даної конструкції, дефектів виготовлення, а коефіцієнти $\xi(\tau)_i$ визначають вплив тих чи інших можливих видів пошкоджень, викликаних фізичним зносом конструкції. Останні є функціями часу τ і визначають зв'язок з часовим фактором.

Для розрахунків зміни міцності і надійності поясів циліндричної стінки резервуара необхідно використовувати наступні елементи формули (5):

η_1 - коефіцієнт, що враховує можливий вплив на міцність дефектів геометрії поясів циліндричної стінки;

η_2 - коефіцієнт, що враховує можливе відхилення фактичної товщини конструктивного елемента від проектної внаслідок плюсових або мінусових допусків на товщину листового прокату;

$\xi(\tau)_1$ - коефіцієнт, що враховує можливе зменшення товщини конструктивного елемента в результаті корозії;

$\xi(\tau)_2$ - коефіцієнт, що враховує можливе зниження властивостей міцності конструктивного елемента в результаті їх пошкодження поверхневою корозією;

$\xi(\tau)_3$ - коефіцієнт, що враховує можливе зниження міцності конструкцій в результаті підростання гіпотетично наявних в них трещіновідних дефектів;

ξ_4 - коефіцієнт, що враховує можливий вплив на несучу здатність нерівномірних осідань.

Коефіцієнти $\xi(\tau)_1$, $\xi(\tau)_2$, $\xi(\tau)_3$ є функціями часу і визначаються наступними формулами [9].

Для $\xi(\tau)_1$

$$\xi(\tau)_1 = 1 - \frac{v_0 \int_0^{\tau} e^{A_{cor} \cdot \sigma} d\tau}{t_0}, \quad (6)$$

де v_0 - швидкість корозії ненапруженого металу; t_0 - початкова

товщина стінки резервуару; $A_{cor} = \frac{V \cdot k_1}{R_e \cdot T}$; $\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$ - гід-

ростатична складова тензора напружень в конструктивному елементі; V - молярний об'єм металу; R_e - число Рейнольдса; T - температура в градусах Кельвіна. Коефіцієнт k_1 був введений для забезпечення найкращої збіжності результатів випробувань з розрахунковими значеннями.

Для $\xi(\tau)_2$

$$\xi(\tau)_2 = \exp \left(- \frac{v_0 \int_0^{\tau} e^{A_{cor} \cdot \sigma} d\tau}{k_p t_0} \right), \quad (7)$$

де k_p - коефіцієнт пітингоутворення.

Для $\xi(\tau)_3$

$$\xi(\tau)_3 = \frac{\sigma_p(\tau)}{\sigma_{p0}} \quad (8)$$

де $\sigma_p(\tau)$ та σ_{p0} відповідно поточне і початкове і значення руйнівного напруження.

Вплив на міцність нерівномірних осідань враховується в даному випадку коефіцієнтом ξ_4 [10], який вводиться як величина постійна.

Зрештою

$$S(\tau) = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \left(1 - \frac{v_0 \int_0^{\tau} e^{A_{cor} \cdot \sigma} d\tau}{t_0} \right) \cdot \exp \left(- \frac{v_0 \int_0^{\tau} e^{A_{cor} \cdot \sigma} d\tau}{k_p t_0} \right) \times \\ \times \frac{\sigma_p(\tau)}{\sigma_{p0}} \cdot \Phi \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_m} \quad (9)$$

Умова (9) є математичною моделлю, яка може розглядатися як модель зміни міцності (несучої здатності) i -го поясу циліндричної стінки резервуара залежно від часу знаходження резервуара в експлуатації. У цьому випадку $\Phi_i = t_i$ (t_i - товщина i -го поясу), а $F = P \cdot r$ (розрахункове зусилля в i -ому поясі від внутрішнього тиску нафтопродукту), і ймовірність безвідмовності i -го поясу циліндричної стінки за умовою міцності через τ років експлуатації визначиться за формулою

$$p(\tau)_{\sigma_i} = p(S(\tau) - P \cdot r \geq 0). \quad (10)$$

З рівняння

$$p(\tau)_{\sigma_i} = p(S(\tau) - P \cdot r \geq 0) = p_{\sigma_i}^*, \quad (11)$$

де $p_{\sigma_i}^*$ - гранично допустиме значення розглянутої ймовірності, можна визначити технічний T_{σ_i} або залишковий ΔT_{σ_i} терміни безпечної експлуатації i -го поясу.

Якщо розглянутий пояс циліндричної стінки піддавався капітальним ремонтам, то у всіх формулах параметр τ відраховується від терміну закінчення останнього такого ремонту.

По відношенню до циліндричної стінки в цілому формулювати умови міцності не має сенсу, а основні показники на-

дійності можуть бути визначені на основі наступних основних положень :

- циліндрична стінка може вважатися працездатною лише в разі виконання умов міцності у всіх складових її елементах (в даному випадку поясів) ;
- настання відмови якого-небудь елемента по нормативній умові міцності не приводить до відмови по міцності інших елементів;
- настання відмови по нормативній умові міцності може мати місце одночасно в декількох конструктивних елементах ;
- порушення умови міцності в будь-якому з конструктивних елементів циліндричної стінки може відбутися тільки в результаті впливу експлуатаційних факторів, які є загальними для всіх елементів, як за природою, так і по інтенсивності дії.

У зазначених положеннях одночасно присутні, як ознаки незалежності відмов окремих поясів стінки, так і ознаки, що вказують на наявність такого взаємозв'язку. Останні обумовлюються єдиною зовнішньою причиною настання відмов, а саме корозією в умовах одного і того ж середовища. Враховуючи це, загальну ймовірність безвідмовності циліндричної стінки доцільно визначати перемноженням відповідних ймовірностей окремих її поясів, тобто по її нижній оцінці

$$P(\tau)_{\sigma}^{cm} = \prod_{i=1}^k p(\tau)_{\sigma_i}, \quad (12)$$

де k - кількість поясів в циліндричній стінці.

А технічний або залишковий терміни безпечної експлуатації за принципом слабкої ланки, тобто

$$T_{\sigma}^{cm} = T_{\sigma_i \min}, \quad \Delta T_{\sigma}^{cm} = \Delta T_{\sigma_i \min} \quad (13)$$

З розрахункових позицій оцінка ймовірності не руйнування і часу напрацювання на відмову вузла сполучення стінки з днищем не викликає будь-яких принципових труднощів. Узагальнений вид умови міцності залишається таким же (3), проте в якості узагальненого зусилля приймається згинальний момент M_0 в точках сполучення стінки з днищем, ви-

значень за звичайною методикою [11], і вираз для визначення несучої здатності запишеться у вигляді

$$S_M = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \xi(\tau)_1 \cdot \xi(\tau)_2 \cdot \xi(\tau)_2 \cdot \xi(\tau)_3 \cdot \xi_4 \cdot \Phi \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_m}, \quad (14)$$

де $\Phi = \frac{t_1^2}{6}$; C_x - коефіцієнт, що враховує можливість розвитку помірних пластичних деформацій у зоні сполучення, для даного випадку $C_x = 1.5$.

Всі інші складові по (3), (4), (9).

У результаті ймовірність безвідмовності вузла сполучення стінки з днищем за умовою міцності після τ років експлуатації буде визначатися як ймовірність виконання умови

$$P(\tau)_{\sigma_M} = P(S(\tau) - M_0(\tau) \geq 0). \quad (15)$$

У даному випадку ліва частина також буде функцією τ , що пов'язано з особливостями визначення M_0 .

Технічний T_M або залишковий ΔT_M терміни безпечної експлуатації визначається як τ з рівності

$$P(\tau)_{\sigma_M} = P_{\sigma_M}^*, \quad (16)$$

де $P_{\sigma_M}^*$ - гранично допустиме значення ймовірності безвідмовності вузла сполучення за умовою міцності.

Якщо вузол сполучення циліндричної стінки з днищем або розглянутий пояс циліндричної стінки піддавався капітальним ремонтам, то у всіх формулах параметр τ відраховується від терміну закінчення останнього такого ремонту.

Висновки. Запропоновані формули дозволяють отримати значення ймовірності відмови, або значення залишкового терміну безпечної експлуатації елементів РВС (окремого поясу циліндричної стінки, циліндричної стінки в цілому а також вузла сполучення циліндричної стінки з днищем) з урахуванням пошкоджень від корозії за відповідний термін експлуатації резервуару. Okремо можна відзначити, що визначення напружень, які виникають в елементах резервуару з ураху-

ванням зміни від корозії є досить складною задачею, яка планується до вирішення в подальшому.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котельников В.С., Покровская О.В., Коновалов Н.Н., Шевченко В.П. Мониторинг технического состояния оборудования на опасных производственных объектах / Контроль. Диагностика. -2003. ~№8. - С. 6-13
2. Беляев Б. Ф., Горицкий В. М., Кулахметьев Р. Р., Шнейдеров Г. Р. Коррозионная повреждаемость стальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти//Промышленное и гражданское строительство, 1998.-№5.-С. 33-36.
3. Егоров Е. А. Альтернативные оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса стальных нефтерезервуаров//Материалы международной научно-практической конференции «Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж». -Донецк, 2003.-С. 414-421.
4. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М. и др. Надежность технических систем и техногенный риск. - М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002.-367 с.
5. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. -М.: Мир, 1980.- 605 С.
6. Вопросы эксплуатационной надежности резервуаров на нефтеперерабатывающих заводах. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1991,67 с.
7. Бахтизин Р.Н., Буренин В.А., Дмитриев Е.Н. Исследование надежности и эффективности системы хранения нефтепродуктов на АЗС (основные задачи и методы их решения). - Уфа: Изд-во Фонда Содействия развитию научных исследований, 1999. - 42 с.
8. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - С. 148.
9. Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. - М.: Металлургия. - 1981. - 269 с.
10. Егоров Е.А. Исследования и методы расчетной оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса стальных

резервуаров, находящихся в эксплуатации.-
Днепропетровск: «Навчальна книга», 2002. -95 с.

11. Сафарян М. К. Металлические резервуары и газгольдеры. М.: Недра, 1987.- 200 с.

Гринченко Е.Н., Соколов Д.Л., Федоренко Р.Н.

Определение срока безопасной эксплуатации стенки вертикальных резервуаров для сохранения нефтепродуктов в эксплуатации

Рассматривается задача определения показателей надежности элементов вертикального стального резервуара при эксплуатации. Проведенные расчеты вероятности безотказной работы как отдельных элементов так и резервуара в целом. Разработаны соответствующие математические модели для определения вероятности безотказной работы резервуара в эксплуатации.

Ключевые слова: показатель, надежность, стальной резервуар, безотказная работа

Grinchenko Ye.N., Sokolov D.L., Fedorenko R.N.

Determination of the safe use of wall vertical tanks to store petroleum products in service

The problem of determining the reliability indices elements vertical steel tank during operation. The calculations of probability uptime as separate elements and the tank as a whole. Develop appropriate mathematical models to determine the probability of failure-free operation of the reservoir.

Key words: index, reliability, steel tank, failure-free operation

*Гузенко В.А., канд. техн. наук, нач. каф., НУЦЗУ,
Неклонський І.М., ст. викл., НУЦЗУ*

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ
ВЗАЄМОДІЇ ПІДРОЗДІЛІВ РІЗНОГО ПІДПОРЯДКУВАННЯ
ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**
(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.М.)

Побудована математична модель формування системи взаємодії підрозділів різного підпорядкування при виникненні надзвичайних ситуацій за допомогою безперервного марківського ланцюга

Ключові слова: взаємодія, система взаємодії

Постановка проблеми. В єдиній державній системі цивільного захисту (ЄДС ЦЗ) з метою своєчасного запобігання і ефективного реагування на надзвичайні ситуації організовується взаємодія з питань: визначення органів управління, які безпосередньо залучаються до ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, склад і кількість сил (засобів) реагування на них; погодження порядку здійснення спільних дій сил цивільного захисту під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій з визначенням основних завдань, місця, часу і способів їх виконання; організації управління спільними діями органів управління та сил цивільного захисту під час виконання завдань за призначенням; всебічного забезпечення спільних заходів, що здійснюватимуться органами управління та підпорядкованими їм силами цивільного захисту, в тому числі взаємного надання допомоги транспортними, інженерними, матеріальними, технічними та іншими засобами.

Взаємодія рятувальних сил з підрозділами інших міністерств і відомств в ході ліквідації наслідків НС полягає в узгоджених за місцем, часом, завданням і способам їх виконання спільних діях органів управління, підрозділів, служб різного призначення та підпорядкованості, що забезпечують комплексне, найбільш ефективне і повне використання їх можливостей в інтересах проведення робіт в короткі терміни, а також ліквідацію наслідків НС з найменшими затратами. Ос-

новною проблемою в організації спільних заходів є визначення пріоритетних напрямів взаємодії та найбільш ефективного механізму взаємодії всіх структурних елементів двох суб'єктів взаємодії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розв'язку такої проблеми в роботі [1] побудована загальна структурно-функціональна модель організації взаємодії, що описує структурно-функціональні складові як окремої організаційної системи (ОС) так і їх угруповання та дозволяє оцінити ефективність організації взаємодії структурних підрозділів такого угруповання за формальними значеннями стимулюючих та дестимулюючих показників організації взаємодії [2]. Це дозволяє провести структурно-функціональний аналіз системи взаємодії, що створена, але не дає можливості проаналізувати процес її формування.

Постановка завдання та його вирішення. Незважаючи на різноманітність варіантів розвитку кожного типу НС завжди можна виділити окремі стадії розвитку НС та умови переходу від однієї стадії до іншої. З метою аналізу процесу формування системи взаємодії при ліквідації наслідків НС необхідно побудувати математичну модель формування відповідної системи за умови, що ця система може змінювати свій стан протягом часу (переходити із одного стану в інший) випадковим чином.

Угруповання в зоні НС, що складається, як мінімум, із двох суб'єктів взаємодії, може розглядатися як організаційна система більш високого рівня S (система взаємодії двох ОС). Така система є складною, багатофункціональною динамічною, в якій протікає випадковий процес зміни свого стану протягом часу.

Формування системи взаємодії S є по суті безперервний марківський ланцюг, або «процес загибелі та розмноження».[3] Розв'язок задач «загибелі та розмноження» зводиться до знаходження граничних ймовірностей станів при відомих чи регламентованих інтенсивностях взаємодії послідовних станів.

Розглянемо процес зміни системи взаємодії S за допомогою безперервного марківського ланцюга, зображеного на структурній схемі (рис. 1).

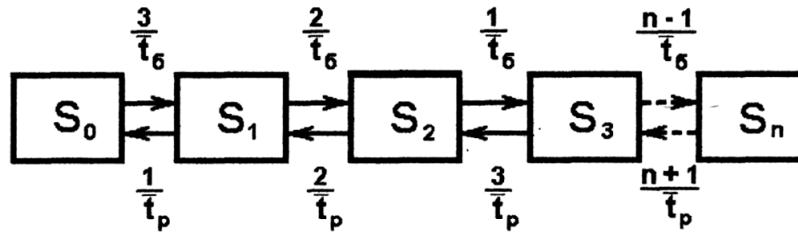


Рис. 1 – Структурна схема формування системи взаємодії за допомогою безперервного марківського ланцюга

На структурній схемі: \bar{t}_g - середній час створення системи взаємодії відповідного рівня; \bar{t}_p - середній час коригування (відновлення) цієї системи; $S_0...S_n$ - стани системи взаємодії; n – кількість рівнів взаємодії; по стрілках праворуч - системи переводять у відповідні рівні взаємодії, а по стрілках ліворуч – здійснюється коригування (відновлення) необхідного рівня.

Оскільки потік відмов для кожного стану - найпростіший, то проміжок часу між відмовами в цьому потоці розподілений за показниковим законом з інтенсивністю взаємодії $\lambda_{23} = \frac{1}{t_g}$ а для стану $S_n - \lambda_{3n} = \frac{n-1}{t_g}$. Відповідно для процесу

відновлення (рух ліворуч) інтенсивність взаємодії $\mu_{10} = \frac{1}{t_p}$, а

$$\text{для стану } S_n - \mu_{n3} = \frac{n+1}{t_p}. [3]$$

Зрозуміло, що така схема має сенс за умови, що стан формування системи миттєво стає станом відновлення (коригування), що суворо регламентується відповідними документами щодо організації взаємодії підрозділів ЄДС ЦЗ.

Враховуючи нормувальну умову схеми «загибелі та розмноження»

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = 1, \tag{1}$$

знайдемо граничні імовірності всіх станів ($S_0.....S_n$)

$$\left. \begin{aligned}
 p_0 &= \frac{1}{1 + 3\left(\frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_\sigma}\right) + 3\left(\frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_\sigma}\right)^2 + 3\left(\frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_\sigma}\right)^3}; \\
 p_1 &= 3\left(\frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_\sigma}\right) p_0; \\
 p_2 &= 3\left(\frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_\sigma}\right)^2 p_0; \\
 p_3 &= 3\left(\frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_\sigma}\right)^3 p_0; \\
 &\dots\dots\dots \\
 p_n &= \left[\frac{\bar{t}_p(n-1)}{\bar{t}_\sigma(n+1)} \right]^n
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Знаючи конкретні значення \bar{t}_p та \bar{t}_σ , можна знайти реальні значення $p_0 \dots p_n$ або перейти до визначення відповідних значень \bar{t}_p та \bar{t}_σ при відомих $p_0 \dots p_n$. Можна також визначити оптимальний час формування системи взаємодії S з можливістю її коригування в часі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Неклонський І.М. Структурно-функціональна модель організації взаємодії організаційних систем при ліквідації надзвичайних ситуацій. / Неклонський І.М., Єлізаров О.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. – 2012. - Вип. 16. – С. 69 - 81.
2. Неклонський І.М. Визначення критерія оцінки ефективності організації взаємодії підрозділів МНС України та МВС України при ліквідації надзвичайних ситуацій. / Неклонський І.М., Єлізаров О.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. – 2012. - Вип. 15. – С. 89 - 98.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. / Вентцель Е.С. - М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 208 с.

Гузенко В.А., Неклонский И.М.

Математическая модель формирования системы взаимодействия подразделений разного подчинения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

Построена математическая модель формирования системы взаимодействия подразделений разного подчинения при возникновении чрезвычайных ситуаций с помощью непрерывной марковской цепи

Ключевые слова: взаимодействие, система взаимодействия

Guzenko V.A., Neklonsky I.M.

Mathematical model of the formation of interaction different subordination in the aftermath of emergencies

A mathematical model of the interaction of various subordinate units during emergencies through continuous Markov chain

Key words: interaction, system interaction

УДК 550.34.034

Дяченко Д.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,

Росоха С.В., д-р техн. наук, проф., НУЦЗУ,

Солонець О.І., канд. техн. наук, пров. наук. співр., ХУПС,

Самарін В.О., викл., НУЦЗУ

**НАПРЯМКИ РОЗРОБКИ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ЗАСАД
ОБРОБКИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ДАНИХ СЕЙСМІЧНИХ
ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФАКТОРІВ НЕБЕЗПЕКИ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

У роботі визначені основні напрямки розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, які дозволять підвищити ефективність застосування мережі сейсмічних спостережень Головного центру спеціального контролю.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, фактор небезпеки, моніторинг, сейсмічний сигнал, мережа сейсмічних спостережень

Постановка проблеми. Запобігання надзвичайним ситуаціям (НС), оперативна ліквідація їх наслідків, максимальне зниження масштабів втрат та збитків є загальнодержавною

Напрямок розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій

проблемою і одним з найважливіших завдань органів влади та управління всіх рівнів.

Постановою Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014 р. №11 затверджено положення про єдину державну систему цивільного захисту (ЄДСЦЗ). Повнота та якість виконання завдань, що стоять перед ЄДСЦЗ, безпосередньо залежать від своєчасного одержання інформації про НС та їх наслідки.

Забезпечення оперативного та дистанційного одержання інформації про НС на території України та суміжних держав, факторами безпеки яких є сейсмічні збурення, здійснює Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України.

Однак на даний час залишається не вирішеною задача розробки теоретичних основ виявлення факторів безпеки надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру сейсмічними засобами ГЦСК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] визначено показники функціональної ефективності засобів ГЦСК при використанні їх в якості інформаційних елементів СМПЗ НС у забезпеченні рішення завдань, пов'язаних з моніторингом НС. Робота [2] дозволяє проаналізувати особливості створення системи моніторингу НС, яка складається з контактних та дистанційних підсистем моніторингу існуючих та потенційних джерел НС. В роботах [3-6] проведені дослідження, що можуть бути покладені в основу прогностичних спостережень, які виконуються ГЦСК в інтересах інформаційного забезпечення системи моніторингу, прогнозування і запобігання (СМПЗ) НС.

Питанням сейсмічного моніторингу та обробки інформації сейсмічних засобів ГЦСК присвячена низка робіт [3-10]. Однак більшість запропонованих підходів спрямовані на вирішення окремих задач, потребують попередньої обробки сигналів та використовуються, як правило, для уточнення параметрів сейсмічного джерела. Крім того намір покращити певний показник неодмінно призводить до погіршення ефективності визначення іншого.

Постановка завдання та його вирішення. Метою статті є визначення основних напрямків розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів безпеки надзвичайних ситуацій.

Інформацію про НС Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України отримує за допомогою Мережі сейсмічних спостережень (МСС). МСС ГЦСК включає трикомпонентні сейсмічні станції (ТКСС), систему сейсмічного групування (ССГ), яка увійшла до Міжнародної мережі сейсмічного моніторингу як станція PS45 та Національний центр даних.

Комплексне використання сейсмічних засобів та методів обробки вимірювальних даних дозволяє виявити джерело сейсмічних збурень за результатами обробки як на окремому пункті спостереження, так і МСС в цілому, оцінити основні параметри джерела – час події, місцеположення осередку, глибину та магнітуду (потужність).

Однак, автоматична локація сейсмічної події та визначення її параметрів при використанні сейсмічного методу потребує значного часу. Так для Міжнародної системи моніторингу [11] при використанні результатів реєстрації мережі первинних станцій час надання попередньої інформації становить 1 годину. Час надання даних про сейсмічну подію за даними первинної та допоміжної мережі становить 10 годин. Остаточна інформація про сейсмічну подію надається протягом 48 годин після її виявлення.

Нерівномірність розташування МСС ГЦСК на території України (рис. 1) обмежують можливості застосування наведених підходів, а нарощення мережі вимагає значних фінансових витрат. Тому доцільною є розробка методів обробки вимірювальних даних в автоматичному режимі для окремих ТКСС.



Рис. 1 – Мережа сейсмічних спостережень ГЦСК

На даний час обробка вимірювальних даних ТКСС здійснюється з використання апарату поляризаційного аналізу (ПА) та поляризаційної фільтрації (ПФ) [8,13], які мають ряд недоліків.

ПА ділянки сейсмічного запису дозволяє чисельно оцінити еліптичність коливань ґрунту та оцінити їх параметри. Виявлення сейсмічних сигналів з використання апарату ПА застосовується у постоперативному режимі при наявності апriorної інформації про наявність сигналу та вимагає значних обчислювальних затрат.

В свою чергу, апарат ПФ сейсмічних даних також використовується лише для обробки даних у постоперативному режимі. Крім того, при вирішенні завдань безперервного моніторингу ПД НС не виключений вплив сейсмічних джерел з близькими кутовими характеристиками, що може привести до помилкового рішення про місцеположення осередку НС.

Таким чином, потребують удосконалення існуючі та необхідна розробка нових методів обробки вимірювальних даних ТКСС.

Одним з напрямків підвищення ефективності обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів є врахування поляризаційних властивостей складових сейсмічного сигналу, що дозволить здійснювати локацію джерела сейсмічних збурень за результатами спостережень як окремою ТКСС, так і МСС в цілому. При цьому необхідно враховувати, що час отримання вимірювальних даних, необхідний для виявлення факторів небезпеки НС сейсмічними засобами та визначення її параметрів обмежено часом надходження *S*-хвилі для ТКСС та часом надходження першої складової *P*-хвилі до пунктів спостереження МСС.

Іншим напрямком підвищення ефективності обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки НС є розробка методів, які дозволять здійснювати безперервний моніторинг ПД НС, використовуючи методи оптимального виявлення, а також враховуючи динамічні (поляризація) та кінематичні (час розповсюдження) особливості складових сейсмічного сигналу.

За результатами сейсмічних спостережень ТКСС стан підконтрольного ПД НС можна визначити функціоналом

$$F(t) = \Omega(\alpha_p, \gamma_p, \alpha_s, \gamma_s, t - \tau_{ps}), \quad (1)$$

де α_p, γ_p – очікуваний азимут та кут виходу першої складової сейсмічного сигналу (P -хвилі) на денну поверхню, які визначаються положенням ПД НС відносно пункту спостереження; α_s, γ_s – очікуваний азимут та кут виходу S -хвилі на денну поверхню, які визначаються за умови ортогональності до очікуваного напрямку приходу P -хвилі; τ_{ps} – різниця часу між вступами складових сейсмічного сигналу, яка визначається за допомогою годографа.

Рішення про встановлення факту сейсмічної події у підконтрольному районі приймається у випадку перевищення порогу значення вирішальної функції.

Реалізація зазначеного підходу дозволить підвищити оперативність оповіщення про НС у підконтрольних районах. Іншою перевагою даного підходу є те, що його використання не потребує наявності попередньої інформації про форму сейсмічного сигналу.

Крім того, аналіз варіацій значення функції $F(t)$ може бути застосовано при вирішенні завдань завчасного виявлення змін стану сейсмоактивних зон (САЗ), з метою виявлення активізації процесів підготовки землетрусу.

Обробка даних ССГ полягає в перевірці гіпотез про ймовірне джерело сейсмічної хвилі для певних районів Земної кулі [12], або ж у формуванні діаграми спрямованості ССГ на дані райони [3, 4]

$$S(\lambda, \phi) = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_0}^{T_0 + \Delta T} \left| \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i (T_0 + \tau_i(\lambda, \phi) + t) \right| dt, \quad (2)$$

де λ та ϕ – широта та довгота умовного центру району Земної кулі, включеного до моніторингу ССГ; T_0 – початок сигнальної функції; ΔT – тривалість сигнальної функції; k – кількість елементів ССГ; y_i – елемент часового ряду, утвореного сейсмічним процесом, який відповідає зміщенню ґрунту на i -тому сейсмоприймачі ССГ; $\tau_i(\lambda, \phi)$ – елемент матриці затримок, який залежить від координат підконтрольного району (λ, ϕ), швидкості сейсмічної хвилі та визначається з рішення зворотної геодезичної задачі.

Основними недоліками існуючих алгоритмів обробки вимірювальних даних ССГ є значна кількість обчислюваль-

Напрямки розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій

них операцій, як для пошуку району, для якого перевищено значення порогу, так і для пошуку ділянки в межах району, для якого вирішальна функція приймає максимальне значення, а також обмеження магнітудної чутливості. Підвищення магнітудної чутливості шляхом зменшення порогу призводить до збільшення кількості хвильових фрагментів, які вилучатимуться алгоритмом для подальшої обробки, що може призвести до зриву виконання завдань у реальному часі. Зменшення кількості обчислювальних операцій може бути досягнуто шляхом збільшення розмірів ділянок в межах району для пошуку максимального значення вирішальної функції, однак це призводить до зменшення точності визначення координат осередку події.

Крім того, можливості моніторингу сейсмічної обстановки для ближньої зони обмежено зоною формувань характеристик вибіркості ССГ, яка перекриває центральні, північні та частину південно-західних регіонів України [4].

Основним напрямком застосування ССГ при вирішенні завдань виявлення факторів небезпеки НС є реалізація безперервного моніторингу ПД НС природнього (САЗ) та техногенного (вибухонебезпечні об'єкти) походження. Реалізація такого моніторингу дозволить підвищити магнітудну чутливість ССГ, виявляти зміни стану ПД НС та оперативно виявляти факт НС. Для виключення впливу інших джерел сейсмічних збурень, які неодмінно потраплятимуть до меж формування характеристик вибіркості ССГ, необхідне врахування особливостей форми сейсмічного сигналу [14].

Ідентифікація природи сейсмічного джерела є однією з ключових проблем сейсмічного моніторингу. Можливість відрізнити сейсмічний запис вибуху від запису землетрусу базується на ряді характеристик цих джерел, таких як механізм, розміри, час дії та глибина. Відомі способи ідентифікації природи сейсмічного джерела враховують напрямок першого руху, відношення амплітуд P - та S -хвиль, місцезнаходження осередку, відмінності в спектральному складі сигналу тощо [10].

Недостатня щільність МСС ГЦСК ускладнює ідентифікацію природи сейсмічного джерела за існуючими критеріями. Крім того, розробка методологічних засад щодо ідентифікації природи сейсмічного сигналу в автоматичному режимі за існуючими критеріями ускладнена тим, що для надійної

ідентифікації необхідно вирішувати додаткові задачі – визначення напрямку першого вступу, визначення типів сейсмічних хвиль тощо.

Одним з основних критеріїв ідентифікації природи сейсмічного джерела, який використовується на даний час, є відмінності спектрального складу запису сейсмічних сигналів від землетрусів та вибухів [10,11]. Критерієм оцінки кількісної відмінності є відношення сум спектральних амплітуд $A(f)$ у високочастотному ($h_1 - h_2$) та низькочастотному ($w_1 - w_2$) інтервалах

$$\Theta = \int_{h_1}^{h_2} A(f) df / \int_{w_1}^{w_2} A(f) df. \quad (3)$$

Проте досить часто мають місце випадки, коли спектрограми сейсмічних сигналів від сигналів різного походження не мають чітких відмінностей, що призводить до помилкового рішення щодо природи сейсмічного джерела.

Крім того, зазначений підхід не враховує особливості спектрального складу фонові обстановки в районі розташування пункту спостереження.

Тобто, задача оперативного та своєчасного виявлення факторів небезпеки НС сейсмічними засобами вимагає додатково розробки методів автоматичної обробки сигналу з метою проведення швидкої та точної ідентифікації природи сейсмічного явища.

Висновки. Таким чином, для ефективного використання МСС ГЦСК в якості інформаційних елементів СМПЗ НС потребує подальшого вирішення задача розробки теоретичних основ виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру сейсмічними засобами ГЦСК.

Основними напрямками розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій є:

- здійснення безперервного моніторингу ПД НС окремими ТКСС та ССГ ГЦСК з метою своєчасного виявлення змін їх стану та оперативного встановлення факту НС;

- виявлення сейсмічних збурень за результатами спостережень ТКСС з урахуванням динамічних та кінетичних особливостей складових сейсмічного сигналу;
- врахування особливостей форми сейсмічного сигналу при формуванні характеристик вибіркової ССГ;
- врахування амплітудно-частотних відмінностей сигналів різної природи та особливостей сейсмічного фону в районі розташування МСС ГЦСК при ідентифікації природи сейсмічного джерела за результатами обробки сейсмічних даних у автоматичному режимі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрощук Р.А. Мережа геофізичних спостережень ГЦСК як інформаційний сегмент системи моніторингу надзвичайних ситуацій / Р.А. Андрощук, І.В. Толчонов, Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. пр. – К.: ЦНДІ НіУ, 2011. – Вип. 2 (18). – С. 281-283.
2. Абрамов Ю.А. Основные требования к созданию системы мониторинга чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Абрамов, В.В. Тютюнник, Р.И. Шевченко // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 6 (46). – С. 203-207.
3. Гордієнко Ю.О. Моніторинг сейсмонебезпечних районів засобами сейсмічного групування / Д.В. Голкін, О.І. Солонець, О.С. Бутенко, Ю.О. Гордієнко // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 8(36). – С. 67-70. сейсмічного сигналу від джерел в ближній зоні / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, Ю.А. Андрущенко // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 3 (15). – С. 27-31.
4. Гордієнко В.О. Виявлення сейсмічних сигналів та визначення кутових характеристик їх джерел за результатами поляризаційної фільтрації / В.О. Гордієнко, Ю.О. Гордієнко, В.А. Кирилюк // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 1 (52). – С. 67-71.
5. Андрущенко Ю.А. Аналіз ефективності застосування критеріїв ідентифікації вибухів і землетрусів для локальних та регіональних подій в умовах платформної частини

- України / Ю.А. Андрущенко, Ю.О. Гордієнко // Геофізичний журнал. – 2009. – Т. 31, № 3. – С. 121-129.
6. Кедров О.К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний / О.К. Кедров – М., Саранск : Тип. "Крас. Окт.", 2005. – 420 с.
 7. Дядюра В.А. Украинская сейсмическая группа. Модернизация аппаратно-программных средств / В.А. Дядюра, И.Ю. Михайлик, А.В. Пененко и др. // Геофизический журнал. – 2000. – Т. 22, № 3. – С. 70-77.
 8. Гордиенко Ю.А. Избирательные характеристики Украинской сейсмической группы при мониторинге сейсмоопасных районов в ближней зоне / Ю.А. Гордиенко, А.И. Солонец, И.Н. Сащук, В.Н. Шапка // Збірник наукових праць ЖВІРЕ. – Ж.: ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 8. – С. 130-141.
 9. Гордієнко Ю.О. Особливості активізації сейсмічних процесів сейсмонебезпечного району Вранча / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, В.А. Кирилюк, Р.А. Андрошук // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. пр. – Ж.: ЖВІ НАУ, 2009. – Вип. 2. – С. 125-130.
 10. Гордієнко Ю.О. Сучасні інформаційно-комп'ютерні технології та мережа сейсмічних спостережень ГЦСК щодо упередження максимального сейсмічного ефекту від землетрусу в ближній зоні / Ю.О. Гордієнко, В.М. Каплаушенко // Вісник ЖДТУ. – 2006. – № 3 (38). – С. 61-78.
 11. Обработка геофизических сигналов у современных автоматизированных комплексах : Навч. посібник / М.Ф. Пічугін, О.А. Машков, В.А. Кирилюк та ін. – Ж.: ЖВІРЕ, 2006. – 178 с.
 12. Гордієнко Ю.О. Автоматична ідентифікація об'ємних хвиль за результатами аналізу кутових характеристик / В.А. Дядюра, И.Ю. Михайлик, А.В. Пененко и др. // Геофизический журнал. – 2000. – Т. 22, № 3. – С. 70-77.
 13. Александров С.И. Поляризационный анализ сейсмических волн. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 142 с.
 14. Гордієнко Ю.О. Оцінка характеристик вибіркової системи сейсмічного групування при врахуванні форми сейсмічного сигналу / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, І.В. Толчонов, В.О. Гордієнко. – Системи обробки інфор-

мації : зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 6(87). – С. 264-266.

Дяченко Д.В, Росоха С.В., Солонец А.И., Самарин В.А.

Направления разработки методологических основ обработки измерительных данных сейсмических средств для выявления факторов опасности чрезвычайных ситуаций

В работе определены основные направления разработки методологических основ обработки измерительных данных сейсмических средств для выявления факторов опасности чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, которые позволят повысить эффективность применения сети сейсмических наблюдений Главного центра специального контроля

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, фактор опасности, мониторинг, сейсмический сигнал, сеть сейсмических наблюдений

Djachenko D.V., Rosokha S.V., Solonets A.I., Samarin V.O.

Basic directions of methodological bases development of measurings data processing of seismic facilities for the exposure of danger factors

Basic directions of methodological bases development of measurings data processing of seismic facilities for the exposure of danger factors of technogenic and natural character extraordinary situations are certain, which will allow to promote efficiency of application of seismic supervisions network of the Main center of the special control

Key words: extraordinary situation, danger factor, monitoring, seismic signal, network of seismic supervisions

*Калиновський А.Я., канд. техн. наук, нач. каф., НУЦЗУ,
Коваленко Р.І., курсант, НУЦЗУ,
Коврегін В.В., канд. техн. наук, проректор, НУЦЗУ,
Ларін О.О., канд. техн. наук, доц., НТУ «ХП»*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАВНОСТІ ХОДУ ВІЗКА
ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ
ВАНТАЖІВ З НЕЛІНІЙНИМ ПІДРЕСОРОМ**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

Представлені результати експериментальних досліджень коливань вантажу, що розміщений на спеціалізованому транспортному засобі (СТЗ) під час перевезень. Експерименти проведені у вигляді дорожніх випробувань. Конструкції СТЗ, що розглядаються має додатковий рівень підресорення з нелінійною характеристикою, що має квазінульову жорсткість. Порівняльний аналіз показав, що підресорення з квазінульовою жорсткістю дозволяє істотно знизити рівні вібрацій, а отже підвищити безпеку перевезення вибухонебезпечних речовин.

Ключові слова: вибухонебезпечний віброчутливий вантаж, система підресорення, спеціалізований транспортний засіб, пневматичний пружний елемент, вертикальні коливання

Постановка проблеми. В сучасному автомобілебудуванні велика увага приділяється зменшенню рівнів вібрацій у транспортних засобах під час перевезень. Сукупність властивостей ТЗ, що забезпечують віброзахист водія, пасажирів, вантажів, які перевозяться та власних агрегатів від впливу вібрацій, що виникають під час руху, прийнято називати плавністю ходу [1]. Забезпечення високих показників плавності ходу особливо актуально при перевезеннях вибухонебезпечних віброчутливих вантажів. Слід відзначити проблему транспортування застарілих боеприпасів та інших вибухонебезпечних предметів від місця знаходження до пункту утилізації [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для транспортування зазначених об'єктів зазвичай використовуються спеціалізовані візки-причепи (спеціалізовані транспортні засоби – СТЗ), конструкція яких оснащена ресорним під-

вішуванням [2]. На жаль, традиційні системи підресорення візків-причепів не дозволяють отримати вібраційний вплив на вантаж на необхідному низькому рівні. В роботах [3-4] пропонується створити СТЗ, конструкція якого має додаткову ступінь підресорення, що має реалізовувати віброізоляцію вантажу. Зменшення динамічної реакції в коливальній системі може бути досягнуто шляхом зменшення жорсткості пружних елементів в цій системі [5]. Для звичайних пружин відповідна зміна жорсткості із збереженням несучої спроможності вимагає істотного збільшення розмірів. Проте використання пружин (або спеціально сконструйованих пружинних блоків) з нелінійною характеристикою дозволяє отримати певний проміжок роботи системи з суттєво малою жорсткістю за збереження компактних розмірів та необхідної несучої спроможності. Такі системи прийнято називати системами із квазінульовою жорсткістю.

Постановка завдання та його вирішення. В даній роботі розглядаються експериментальні дорожні випробування вертикальних коливань вантажу, що розміщений на дослідному зразку СТЗ, який має дворівневу систему підресорення при чому другий рівень реалізує стан квазінульової жорсткості. Метою досліджень є визначення фактичного ефекту щодо покращення плавності ходу запропонованої системи у порівнянні із класичною конструкцією подібних причепів.

Конструкція дослідного зразку СТЗ із додатковою системою підресорення, яка має квазінульову жорсткість. Дослідний зразок СТЗ являє собою одновісний несамохідний причіп, що під'єднується до легкових автомобілів. Конструкція складається з однієї колісної вісі, несучої рами (кузова), вантажної платформи на якій розташовується вантаж та двох рівнів підресорення (рис. 1).

Перший рівень підресорення в конструкції має лінійну характеристику, що є традиційним для автомобілебудування (СТЗ, що оснащений лише одним рівнем підресорення, являє собою класичний причіп легкового автомобіля).

Для реалізації другого рівня підресорення на рамі причепа монтується за допомогою пружинного блоку (4, див. рис. 1) вантажна платформа на якій закріплюється небезпечний вантаж, що перевозиться. Пружинний блок має нелінійну характеристику із областю, що реалізує стан квазінульової жорсткості.

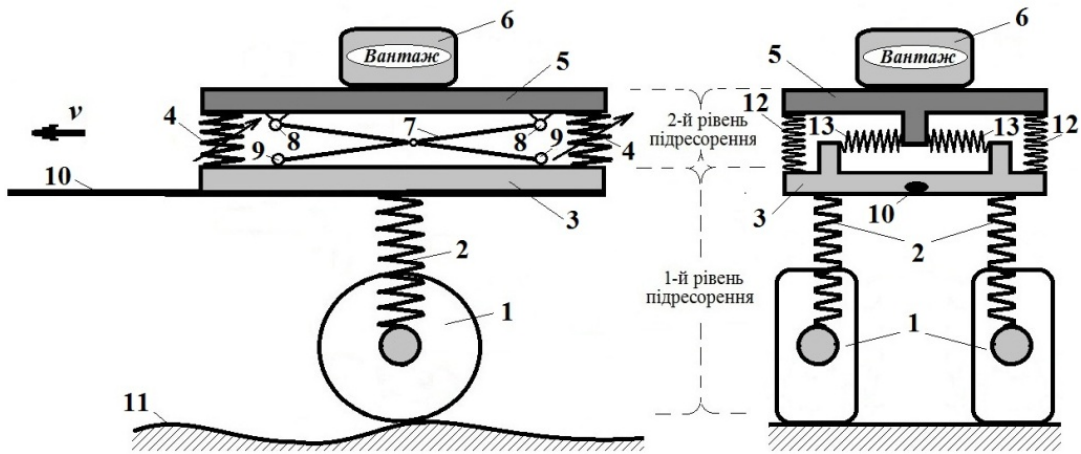


Рис. 1 – Схема конструкції СТЗ, що досліджується. 1 – колеса візка, 2 – ресорне підвішування першого рівня (класичне), 3 – рама візка-причепа, 4 – пружинні блоки ресорного підвішування другого рівня, 5 – вантажна платформа, 6 – вантаж, 7 – важелі прямого паралелограма, 8 – шарнірні кріплення важелів прямого паралелограма, 9 – опорні котки (рухливі шарніри) важелів паралелограма, 10 – дішло, 11 – профіль дороги, 12, 13 – елементи пружинного блоку ресорного підвішування другого рівня

Конструктивно, даний блок був створений з циліндричних пружин стискання, які утворювали між собою ферму Мізеса (рис. 2).

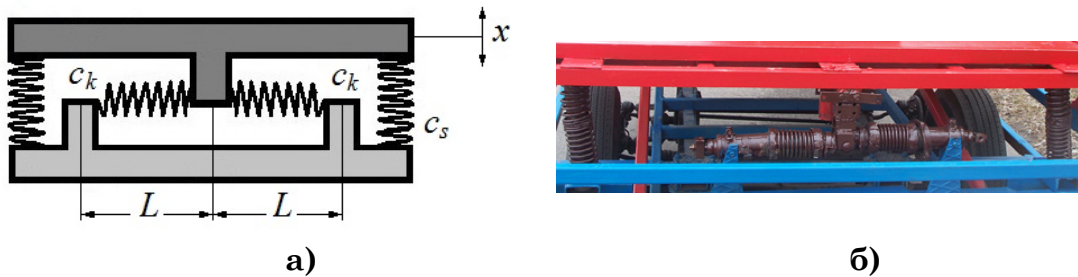


Рис. 2 – Схема конструкції (а) та фотографія дослідного зразку (б) другої ступені ресорного підвішування, що реалізує квазінульову жорсткість

Нелінійна характеристика даної системи сформована геометричними співвідношеннями між деформацією горизонтальних пружин та вертикальними переміщеннями. Причому горизонтальні пружини повинні бути попередньо у стисненому стані. Якщо ввести позначення L – довжина пружини у го-

ризонтальному стисненому положенні, Δ – величина попереднього стискання, c_s – жорсткість пружин вертикальних, c_k – жорсткість пружин горизонтальних, x – вертикальне переміщення платформи із вантажем, то нелінійна приведена пружна сила, що виникатиме в пружинному блоці матиме вигляд

$$F_{nl}(x) = 2 \cdot c_k \cdot x \left(1 - \frac{L + \Delta}{\sqrt{L^2 + x^2}} \right) + 2 \cdot c_s \cdot x. \quad (1)$$

На рис. 2 наведено графік залежності нелінійної пружної сили F_{nl} від вертикальних переміщень платформи.

Для наочності на графіку побудована лінійна пружна сила, що утворюється при демонтажі горизонтальних пружин коректорів жорсткості. Величини жорсткості та геометричні розміри були взяті у відповідності до величин, що були застосовані у дослідному зразку СТЗ.

Наведена залежність нелінійної пружної сили вказує на наявність області із квазінульовою жорсткістю: це інтервал переміщень $\pm 0,1$ м. Крім того в межах переміщень $\pm 0,3$ м горизонтальні коректори забезпечують меншу пружну силу ніж лінійна компоновка без коректорів жорсткості. Окремо слід зазначити, що із збільшення можливих переміщень в жорсткість даної системи різко зростає, що призведе до протилежного відносно віброізоляції ефекту.

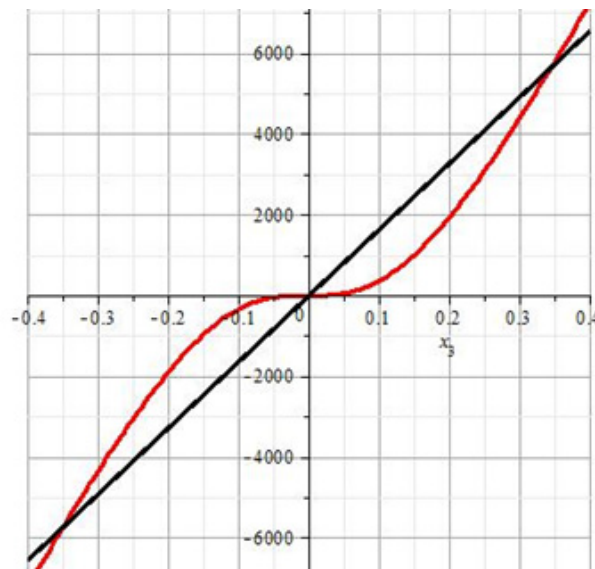


Рис. 3 – Нелінійна пружна сила

Слід також відмітити, що нелінійна характеристика матиме область із квазінульовою жорсткістю лише у випадку, якщо жорсткості пружин та їх попереднє стискання будуть у раціональному співвідношенні

$$c_S L = c_k \Delta. \quad (2)$$

Результати дорожніх випробувань вертикальних коливань вантажної платформи СТЗ. Дослідний зразок візка (із макетом небезпечного вантажу на ньому) підчас дорожніх досліджень був закріплений у якості причепа до автомобіля УАЗ, який рухався із заданою швидкістю (рис. 3). Платформа була попередньо навантажена (вантаж 100 кг), що реалізує робочі масові характеристики при перевезеннях та реалізує у системі внаслідок присутності додаткових сил тяжіння, необхідне базове положення рівноваги.

Відповідно до задач експериментальних досліджень було використано вимірювальний комплекс «Ультра-В-І» [6], який розроблений на кафедрі динаміки та міцності машин НТУ «ХП». Вимірювальний комплекс складається із: датчика віброприскорень, що оснащений мікроелектромеханічним ємнісним сенсором; аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та портативного комп'ютера. «Ультра-В-І» має дійсне свідоцтво про Державну метрологічну атестацію і дозволяє проводити вимірювання віброприскорень у точці конструкції за трьома напрямками.



Рис. 4 – Лабораторні випробування дослідницького зразка візка

Під час досліджень датчик вібрацій встановлювався під платформою (рис. 4). Далі через дріт датчик був під'єднаний до АЦП і комп'ютера, що знаходились в салоні автомобіля Система мала автономне акумуляторне живлення. Час безперервної роботи складав 2 години.



Рис. 5 – Розміщення датчику вібрацій

Дослідження проводились на різних швидкостях руху автомобіля: 10 км/год, 20 км/год та 30 км/год. При цьому запис сигналу розпочинався після розгону автомобіля до заданої швидкості руху та тривав близько 60 секунд, що для розглядаємих швидкостей дозволяло забезпечити рух чітко по прямому проміжку дороги, а разом із тим достатній інтервал вимірювань для подальшої обробки. При цьому кожен заїзд був проведений по одному й тому ж проміжку дороги у однаковому напрямку. Кожен заїзд повторювався у двох компоновках конструкції: в рамках роботи лише одного (першого) рівня підресорення, що реалізує класичний причіп для транспортування вантажів, та для конструкції цього візка з двома рівнями підресорення. На рисунку 5 наведено зареєстровані сигнали.

Отримані коливання очікувано носять випадковий характер. Обробка сигналу дає можливість визначити ймовірнісні (статистичні) оцінки, причому в роботі статистичний аналіз базується на припущеннях ергодичності та стаціонарності процесу. Одним з найбільш головних та інформативних параметрів вібрацій транспортних засобів, що відображають

плавність ходу є середнє квадратичне значення (СКЗ) сигналу, яке є більш стійким до супроводжуваних шумів

$$\psi_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N s(t_j)^2}, \quad (3)$$

де ψ_y – СКЗ; $s(t_j)$ – зареєстровані значення сигналу; N – кількість зареєстрованих значень.

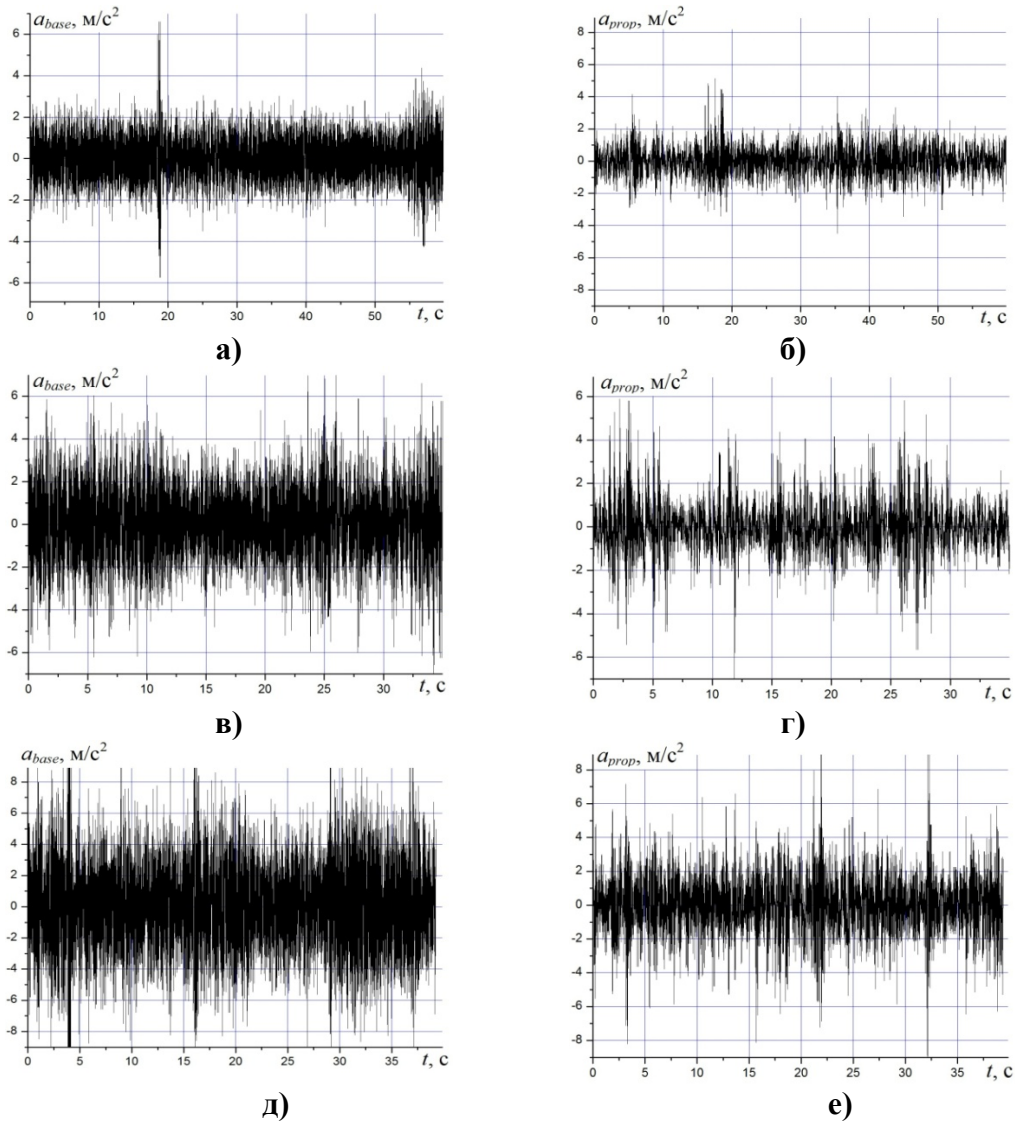


Рис. 6 – Вібро-прискорення платформи візка класичної конструкції (а, в, д) та конструкції з двома рівнями підресорення (б, г, е) при русі із швидкістю а), б): 10 км/год, в), г): 20 км/год, д), е): 30 км/год

Величина СКЗ вібрацій при русі із швидкістю 10 км/год складає $0,35 \text{ м/с}^2$ для класичної компоновки та $0,296 \text{ м/с}^2$ для запропонованої дворівневої, що менше на 15%. Для візка, що рухається зі швидкістю 20 км/год запропонована система віброізоляції дозволяє зменшити СКЗ віброприскорень у понад 25%. У випадку руху на швидкості 30 км/год ефективність сягає близько 50%.

Окрім СКЗ віброприскорень показником плавності руху можна вважати пікові значення розмаху та амплітуди коливань віброприскорень, які визначались в ході обробки результатів замірів. За цим показником ефективність на швидкості 10 км/год: 20%, на швидкості 20 км/год: майже 15% та на швидкості 30 км/год трохи більша за 15%.

Узагальнення результатів, що отримані на різних швидкостях руху наведено на рисунку 6.

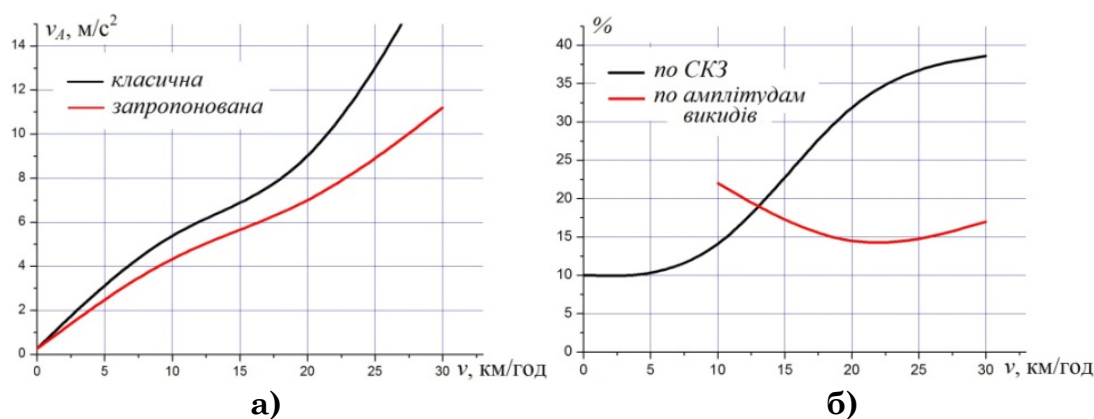


Рис. 7 – Залежність вібро-прискорень (а) та відсотка покращення плавності ходу СТЗ (б) від швидкості його руху

Зареєстровані сигнали були проаналізовані також, з позиції спектральної теорії випадкових ергодичних стаціонарних функцій. За отриманими залежностями вібро-прискорень від часу було розраховано автокореляційну функцію. Автокореляційна функція вказує на характер впливу значення вібрації в даний момент часу, на вібрацію, що відбуватиметься через певний проміжок часу. Вона визначається як згортка сигналу з його дзеркальним зображенням

$$K(t_1) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t_1 - t)dt, \quad (4)$$

тут t_1 – це не даний час t , а нова змінна, що відраховується також по осі t та має сенс проміжку часу на якому аналізується «пам'ять» вібраційного процесу. У відповідності до теореми Вінера-Хінчіна автокореляційна функція визначає енергетичний спектр сигналу (спектральну щільність), як його перетворення Фур'є

$$S(\omega) = \int_0^{\infty} K(t_1) e^{i\omega t_1} \partial t_1. \quad (5)$$

Спектральна щільність є важливою характеристикою вібрацій оскільки відображує розподіл енергії коливального процесу по частотам гармонік, що утворюють цей сигнал. На рисунках 7 представлено результати спектральної обробки зареєстрованих даних, що відображено у вигляді спектральних щільностей.

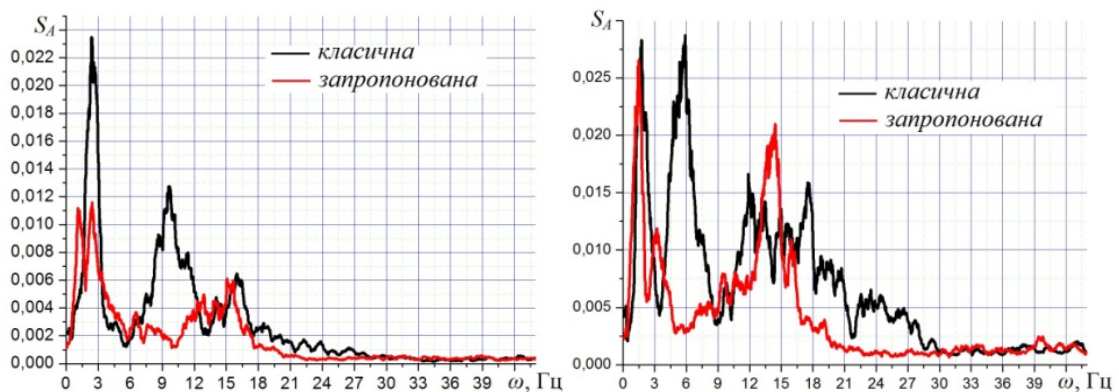


Рис. 8 – Спектральна щільність вібро-прискорень платформи візка класичної (чорна крива) та запропонованої (червона крива) конструкції при русі зі швидкістю 20 км/год (а) та 30 км/год (б)

Порівняльний аналіз отриманих спектральних щільностей для класичного причепа та запропонованої конструкції із дворівневим підресоренням дозволяє відзначити зміну частотного спектру: у системі із дворівневим підресоренням відбулось зниження основної гармоніки з 2 Гц до 1,5 Гц, але збільшилась ширина смуги сплеску, тобто коливання мають більш суттєве випадкове блуждіння частоти та амплітуди. Важливо відмітити, що із спектрального складу зникла гармоніка із ча-

стотою 6 Гц, проте значно більшу частку енергії отримала гармоніка із частотою у 14 Гц.

Висновки. У роботі представлені результати дорожніх досліджень створеного дослідного зразку СТЗ, що має дворівневу схему підресорення, яка забезпечує високу плавність ходу. При цьому розглянуті результати випробовувань СТЗ на різних швидкостях руху. Проведені узагальнюючі дослідження дозволяють зробити висновки з ефективності впровадження другого рівня нелінійного підресорення, оскільки це дозволяє вже на малих швидкостях руху на 10% знизити рівні СКЗ вібро-прискорень, а із збільшенням швидкості руху ефективність сягає 35% і більше. Крім того, нелінійна підвіска з квазінульовою жорсткістю покращує в середньому на 15% віброізоляційні властивості візка щодо впливу випадкових викидів, що мають місце під час транспортування небезпечних вантажів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волков В. П. Теорія руху автомобіля: Підручник / В. П. Волков, Г. Б. Вільський – Суми: Університетська книга, 2010. – 320 с.
2. Соколовский С.А. Проблема транспортировки опасных грузов / Калиновский А.Я., Соколовский С.А. // Об'єднання теорії та практики – залог підвищення постійної готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням. Матеріали VIII науково-технічної конференції. – Харків: НУЦЗУ, 2011. – с.52–53
3. Ларін О.О. Моделювання коливань спеціалізованого транспортного засобу, що має віброзахисну систему із квазінульової жорсткістю під час перевезення небезпечних вантажів / А.Я. Калиновський, О.О. Ларін, С.А. Соколовський // Вісник Севастопольського національного технічного університету, Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь: СевНТУ, 2012.– №135.– С. 64-67.
4. Соколовський С.А. Побудова математичної моделі вертикальних одновісних коливань візка для транспортування небезпечних вантажів / С.А. Соколовський // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Євпаторія, 3-8 травня 2012 року, 2012. – с.187-190

5. Алабужев П. М. Виброзащитные системы с квазиулевою жесткостью. / К. М. Рагульскис, П. М. Алабужев, А. А. Гритчин, Л. И. Ким и др. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1986 – 96 с.
6. Соколовський, С. А. Експериментальні дорожні дослідження плавності ходу спеціалізованого транспортного засобу з нелінійним підресоренням [Текст] / О. О. Ларін, О. О. Водка, С. А. Соколовський, О. О. Назаров // Вісник. – Харків: НТУ «ХП», – № 55. – 2012. – С. 91–99.

Калиновский А.Я., Коваленко Р.И., Коврегин В.В., Ларин А.А.

Исследование плавности хода тележки для транспортировки взрывоопасных грузов с нелинейным поддресориванием

Представлены результаты экспериментальных исследований колебаний груза, который размещен на специализированном транспортном средстве (СТС) при перевозках. Эксперименты проведены в виде дорожных испытаний. Рассматриваемые конструкции СТС, имеют дополнительный уровень поддресоривания с нелинейной характеристикой, имеют квазиулеву жесткость. Сравнительный анализ показал, что поддресоривание с квазиулевою жесткостью позволяет существенно снизить уровни вибраций, а следовательно повысить безопасность перевозки взрывоопасных веществ.

Ключевые слова: взрывоопасный виброчувствительный груз, система поддресоривания, специализированное транспортное средство, пневматический упругий элемент, вертикальные колебания

Kalinovskiy A.Y., Kovalenko R.I., Kovregin V.V., Larin A.A.

Research ride carriage transport explosive cargo on nonlinear of suspension

The results of the experimental investigations of the vibrations during the transportations of the goods which are mounted on specialized vehicle (SV) are presented in the paper. As experiments the road tests have been done. The SV has additional level of cushioning with nonlinear characteristic, which has quasi-zero stiffness. Comparative analysis has shown that quasi-zero stiffness cushioning essentially reduce the level of goods vibrations, so magnifying the movement smoothing.

Key words: explosive cargo, system of suspension, specialized vehicles, pneumatic elastic element, vertical vibrations

*Калиновський А.Я., канд. техн. наук, нач. каф., НУЦЗУ,
Лагутін В.Л., нач. курсу, НУЦЗУ,
Ларін О.М., д-р техн. наук, проф., НУЦЗУ,
Чернобай Г.О., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОСТОРОВИХ КОЛИВАНЬ ВІЗКА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ІЗ ПНЕВМАТИЧНИМ ПІДВІШУВАННЯМ ДРУГОЇ СТУПЕНІ

(представлено д-ром техн. наук Прохачем Е.Ю.)

Розглядається побудова математичної моделі просторових коливань візка для транспортування небезпечних вантажів, який має ресорне підвішування із застосуванням пневмо-елементів в другій ступені

Ключові слова: система ресорного підвішування, пневматичний пружний елемент, вертикальні коливання

Постановка проблеми. Для транспортування небезпечних, зокрема, вибухонебезпечних вантажів від місця знаходження до пункту утилізації розроблена конструкція спеціального візка [1], ресорне підвішування якого має характеристики, що задовольняють умовам безпечного транспортування, а відсутність двигуна і трансмісії обумовлює просту і надійну конструкцію (рис. 1).

Головною особливістю конструкції візка є застосування, на відміну від традиційного для автомобілебудування одноступеневого ресорного підвішування, додаткової другої ступені [2-4], динамічні характеристики якої забезпечують умови безпечного транспортування.

Деякі особливості роботи цієї конструкції [5] в умовах реальної експлуатації, що можуть суттєво ускладнити підготовку до транспортування небезпечних вантажів, вирішуються застосуванням однофрових герметичних пневматичних пружних елементів [6] в опорних точках вантажної платформи, а запропонована поворотна платформа кріплення першої осі значно підвищує ходові якості візка, особливо на кривих ділянках доріг.

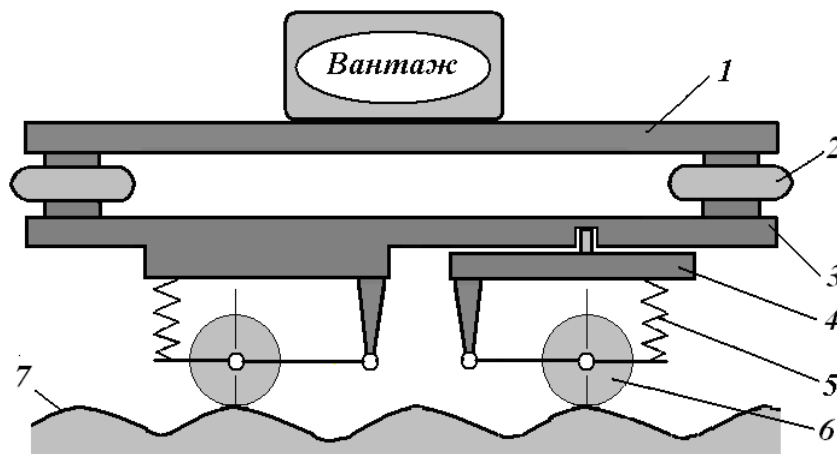


Рис. 1 – Схема конструкції транспортного засобу для перевезення небезпечних вантажів. 1 – вантажна платформа, 2 – пневматична оболонка, 3 – опорна платформа, 4 – поворотна платформа, 5 – пружні елементи першої ступені підвішування, 6 – колеса візка, 7 – профіль дороги

Визначення необхідних параметрів запропонованого ресорного підвішування, від яких суттєво залежать його динамічні властивості, має бути забезпечено розрахунками на математичній моделі просторових коливань запропонованої конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загально-теоретичні основи складання математичних моделей та методи розрахунку систем ресорного підвішування сучасних транспортних засобів викладені в роботах [7-10], а побудова математичних моделей візка для транспортування небезпечних вантажів з різними конструкціями пружних елементів в другій ступені в роботах [11-12].

Розрахунок термодинамічних процесів при проектуванні пневматичних трактів системи ресорного підвішування, базується на теорії «наповнення–спорожнення» та квазістаціонарному методі визначення параметрів стану повітря, що викладені в роботах [13-16].

Аналіз наведених джерел показав доцільність застосування вказаних методів для визначення характеристик запропонованої конструкції.

Постановка завдання та його вирішення. Задача визначення оптимальних параметрів конструкції візка та його динамічних властивостей має бути вирішена побудовою мате-

матичної моделі та відповідних розрахунків. Маючи на увазі, що коливання, які спричинені вертикальними нерівностями дороги мають основний вплив на динамічні властивості транспортної системи доцільно провести їх розрахунок на просторовій моделі (рис. 2).

Для побудови відповідної математичної моделі візок розглядається як система шести пружно пов'язаних твердих тіл:

- колеса візка, масу яких позначимо $M_{01}, M_{02}, M_{03}, M_{04}$;
- опорна платформа разом із приведених до неї частинами маси другої та першої ступені ресорного підвішування, масу яких позначимо M_1 ;
- вантажна платформа разом із вантажем і приведеною до неї частиною маси другої ступені ресорного підвішування, масу яких позначимо M_2 .

Аналіз результатів попередніх досліджень [17] свідчить про недоцільність застосування коректорів жорсткості у другій ступені підвішування з пневморесорами внаслідок незначного діапазону амплітуд коливань із квазінульовою жорсткістю.

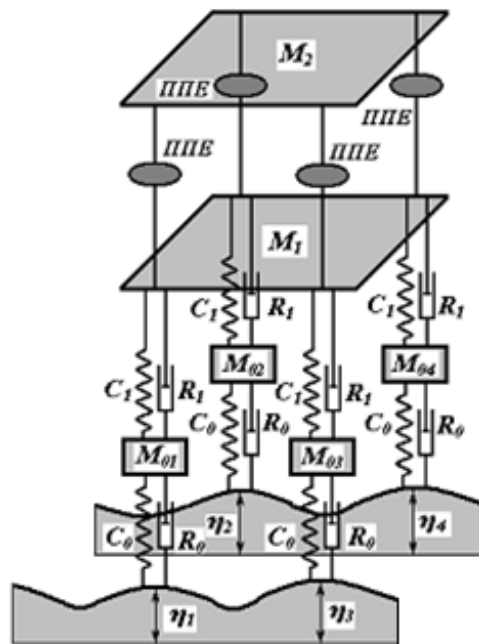


Рис. 2 – Просторова механічна модель візка. M_2 – маса вантажної платформи, ППЕ – пневматичний пружний елемент другої ступені, M_1 – маса опорної платформи, C_1 – жорсткість торсіонів першої ступені підвішування, R_1 – в'язке тертя в першій ступені підвішування, M_0 – маса коліс візка, C_0 – жорсткість шин, R_0 – в'язке тертя в шинах, η – профіль дороги

При складанні математичної моделі використовуємо абсолютну і локальні системи координат (рис. 3).

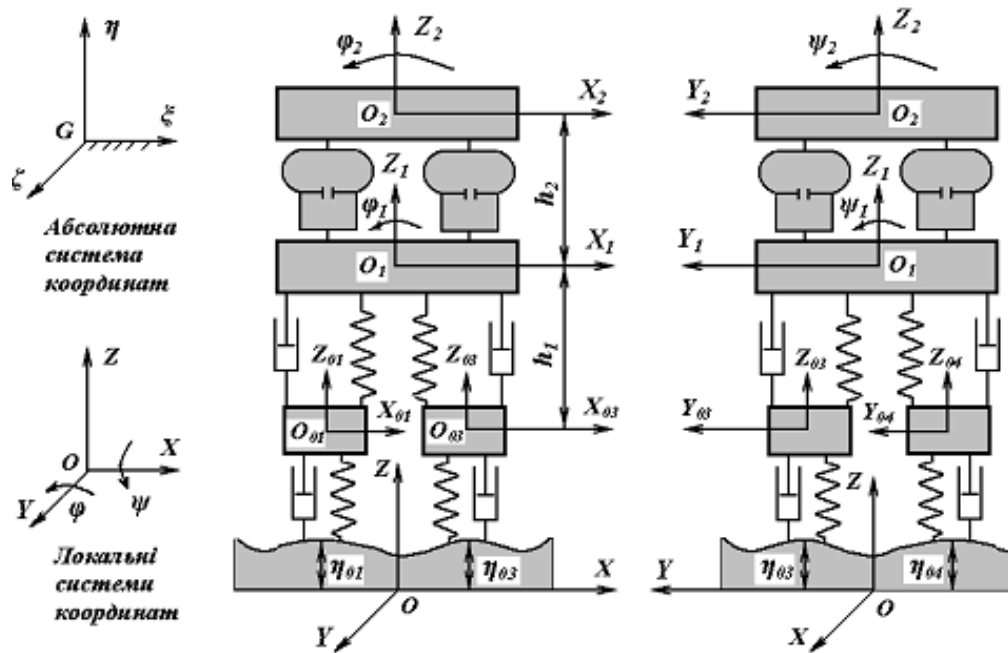


Рис. 3 – Абсолютна і локальні системи координат

Нерухома абсолютна система координат $G\xi\zeta\eta$ розташована на початку траєкторії, де знаходився центр мас вантажної платформи при відсутності вимушеного руху.

Локальні системи координат $OXYZ$ (з індексами) пов'язані з центрами мас відповідних твердих тіл, відповідають їх коливанням відносно положень статичної рівноваги і рухаються відносно абсолютної системи координат $G\xi\zeta\eta$ з постійною швидкістю V .

Виходячи з результатів попередніх експериментів для подальшого аналізу вимушених коливань досліджуваної моделі, визначення необхідних конструктивних параметрів запропонованого ресорного підвішування та розрахунку динамічних характеристик візка доцільно обмежити математичну модель рівняннями, в які включені наступні узагальнені координати:

- вертикальне переміщення центру мас вантажної платформи $-Z_2$;
- кут повороту вантажної платформи в поздовжній площині $-\varphi_2$;

- кут повороту вантажної платформи в поперечній площині – ψ_2 ;
- вертикальне переміщення центру мас опорної платформи – Z_1 ;
- кут повороту опорної платформи в поздовжній площині – φ_1 ;
- кут повороту опорної платформи в поперечній площині – ψ_1 ;
- вертикальні переміщення центрів мас коліс візка – $Z_{01}, Z_{02}, Z_{03}, Z_{04}$.

Поздовжній рух системи визначається рівнянням

$$X_{01} = X_{02} = X_{03} = X_{04} = X_1 = X_2 = X = Vt, \quad (1)$$

де V – швидкість руху, t – час.

Зважаючи на значно більшу у порівнянні із гумовими шинами жорсткість поверхні дороги в якості збудника вимушених коливань візка приймаємо абсолютно жорсткій геометричний профіль заданої конфігурації $\eta = \eta(\xi)$.

Жорсткість шин позначимо C_0 .

В першій ступені ресорного підвішування запропонованого транспортного засобу прийнята традиційна для автомобілебудування незалежна торсіонна підвіска кожного із чотирьох коліс візка. Жорсткість торсіонів позначимо C_1 .

Другу ступінь ресорного підвішування, яка складається із чотирьох пружних пневмоелементів, моделюємо із використанням результатів досліджень, викладених раніше в роботах [18-20].

Аналіз конструктивних особливостей другої ступені ресорного підвішування показав, що об'єм повітряного трубопроводу значно менше ніж інших складових пневмосистеми, що дозволяє виключити його із математичної моделі процесу [16].

З урахуванням вищенаведеного, диференціальні рівняння коливальних процесів, що супроводжують поздовжній рух візка складаються відносно положень статичної рівноваги відповідних мас із використанням загальних положень динаміки.

Для складання математичної моделі застосовуються наступні групи рівнянь:

- рівняння кінетостатики для елементів механічної системи;

– отримані аналітично або експериментально характеристики пружних елементів, які визначають сили взаємодії між частинами механічної системи;

– отримані аналітично або експериментально дисипативні характеристики ресорного підвішування, які визначають розсіювання енергії при взаємодії елементів механічної системи;

– геометричні залежності, які визначають положення, відносні переміщення та швидкості відносних переміщень елементів механічної системи;

– термодинамічні рівняння, які визначають процеси в системі пневматичного ресорного підвішування.

Сили, які діють на складові елементи механічної моделі візка наведено на рисунку 4.

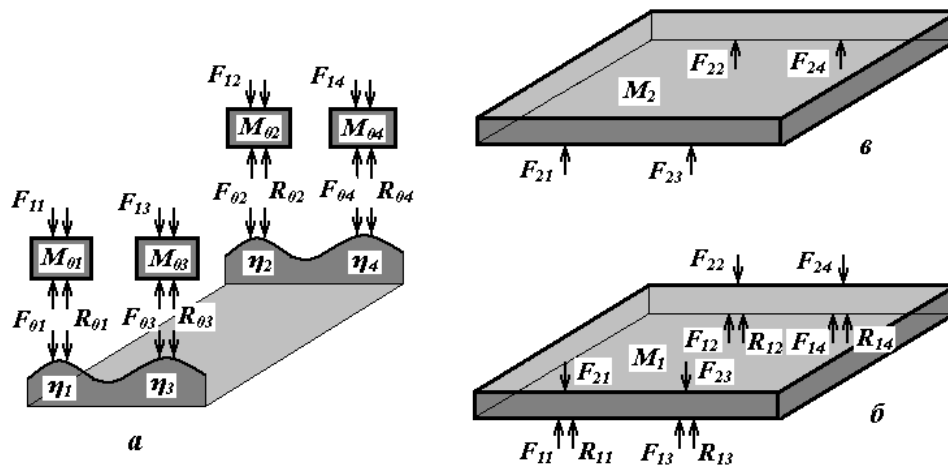


Рис. 4 – Сили, які діють на складові елементи механічної моделі візка. а – дорога і колеса візка, б – опорна платформа, в – вантажна платформа, $M_{01}=M_{02}=M_{03}=M_{04}=M_0$ – маса коліс візка, $F_{01}, F_{02}, F_{03}, F_{04}$ – сили пружності шин, $R_{01}, R_{02}, R_{03}, R_{04}$ – дисипативні сили в шинах, M_1 – маса опорної платформи, $F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14}$ – сили пружності в першій ступені підвішування, $R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}$ – дисипативні сили в першій ступені підвішування, M_2 – маса вантажної платформи, $F_{21}, F_{22}, F_{23}, F_{24}$ – сили в пневмоелементах другої ступені підвішування, $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ – профіль дороги

Пружні сили $-F_{01}, F_{02}, F_{03}, F_{04}$, які діють в шинах візка дорівнюють

$$F_{01} = C_0 \Delta_{01}, F_{02} = C_0 \Delta_{02}, F_{03} = C_0 \Delta_{03}, F_{04} = C_0 \Delta_{04}, \quad (2)$$

Математична модель просторових коливань візка для транспортування небезпечних вантажів із пневматичним підвішуванням другої ступені

де $\Delta_{01}, \Delta_{02}, \Delta_{03}, \Delta_{04}$ – деформації шин становлять

$$\Delta_{01} = \eta_1 - Z_{01}, \Delta_{02} = \eta_2 - Z_{02}, \Delta_{03} = \eta_3 - Z_{03}, \Delta_{04} = \eta_4 - Z_{04}, \quad (3)$$

де $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ – висота нерівності (профілю) дороги під відповідним колесом.

Пружні сили $-F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14}$, які діють в торсіонах першої ступені підвішування дорівнюють

$$F_{11} = C_1 \Delta_{11}, F_{12} = C_1 \Delta_{12}, F_{13} = C_1 \Delta_{13}, F_{14} = C_1 \Delta_{14}, \quad (4)$$

де $\Delta_{11}, \Delta_{12}, \Delta_{13}, \Delta_{14}$ – приведені до колеса деформації пружних елементів (торсіонів) становлять

$$\begin{aligned} \Delta_{11} &= Z_{01} - Z_1 + \phi_1 a + \psi_1 b, & \Delta_{12} &= Z_{02} - Z_1 + \phi_1 a - \psi_1 b, \\ \Delta_{13} &= Z_{03} - Z_1 - \phi_1 a + \psi_1 b, & \Delta_{14} &= Z_{04} - Z_1 + \phi_1 a - \psi_1 b, \end{aligned} \quad (5)$$

де $2a$ – база візка, тобто відстань між його колесами у поздовжньому (вісь X) напрямку, $2b$ – відстань між колесами візка у поперечному (вісь Y) напрямку.

Пружні сили $F_{21}, F_{22}, F_{23}, F_{24}$ другої ступені підвішування визначаються характеристиками пневматичних елементів, їх деформаціями (рис. 5) та тиском повітря.

Ці сили дорівнюють

$$F_{21} = P_{\Pi 1} S_{\Pi 1}, F_{22} = P_{\Pi 2} S_{\Pi 2}, F_{23} = P_{\Pi 3} S_{\Pi 3}, F_{24} = P_{\Pi 4} S_{\Pi 4}, \quad (6)$$

де $P_{\Pi 1}, P_{\Pi 2}, P_{\Pi 3}, P_{\Pi 4}$ – надлишковий тиск, що обумовлений термодинамічними процесами у пневматичних оболонках і визначається рішенням відповідних рівнянь, $S_{\Pi 1}, S_{\Pi 2}, S_{\Pi 3}, S_{\Pi 4}$ – ефективна площа пневматичних оболонок, що залежить від їх робочої висоти, визначається експериментально і вводиться в рівняння математичної моделі геометричними залежностями

$$S_{\Pi 1} = f(\Delta_{21}), S_{\Pi 2} = f(\Delta_{22}), S_{\Pi 3} = f(\Delta_{23}), S_{\Pi 4} = f(\Delta_{24}). \quad (7)$$

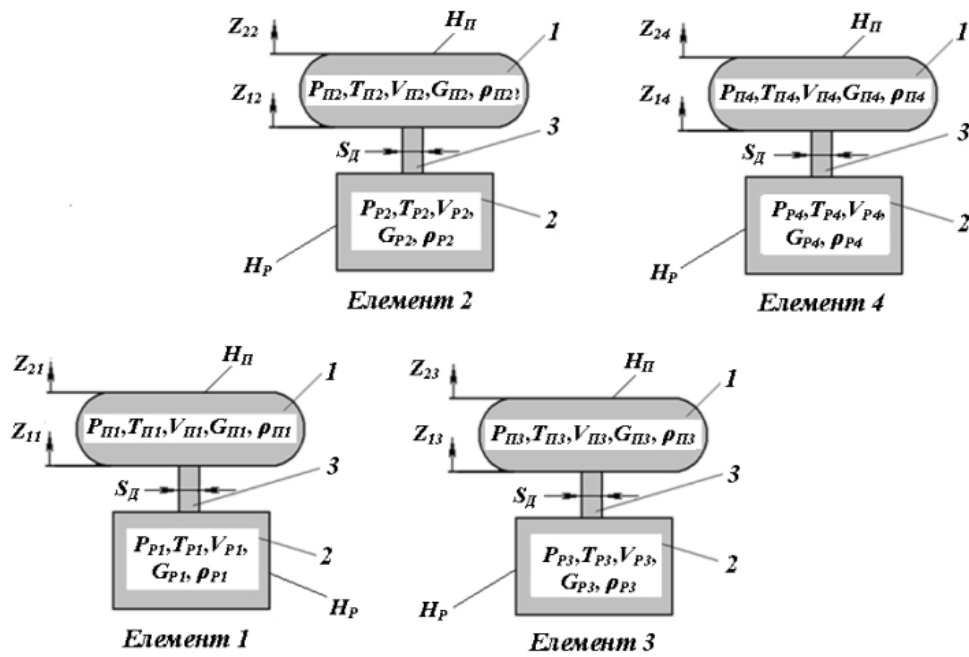


Рис. 5 – Розрахункова схема пневматичних елементів другої ступені підвішування. 1 – гумовокордна оболонка, 2 – додатковий резервуар, 3 – дросельна шайба, $S_{д}$ – площа отвору дросельної шайби, $H_{П}$ – площа поверхні гумовокордної оболонки, $H_{Р}$ – площа поверхні додаткового резервуару

Деформації пневморесор – $\Delta_{21}, \Delta_{22}, \Delta_{23}, \Delta_{24}$ становлять

$$\begin{aligned}
 \Delta_{21} &= Z_{11} - Z_{21} = Z_1 - Z_2 - \phi_1 l + \phi_2 l - \psi_1 f + \psi_2 f, \\
 \Delta_{22} &= Z_{12} - Z_{22} = Z_1 - Z_2 - \phi_1 l + \phi_2 l + \psi_1 f - \psi_2 f, \\
 \Delta_{23} &= Z_{13} - Z_{23} = Z_1 - Z_2 + \phi_1 l - \phi_2 l - \psi_1 f + \psi_2 f, \\
 \Delta_{24} &= Z_{14} - Z_{24} = Z_1 - Z_2 + \phi_1 l - \phi_2 l + \psi_1 f - \psi_2 f,
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

де: $2l$ – відстань між пневмоелементами другої ступені ресорного підвішування візка у поздовжньому (вісь X) напрямку, $2f$ – відстань між пневмоелементами другої ступені ресорного підвішування візка у поперечному (вісь Y) напрямку.

Дисипативні сили в шинах моделюються в'язким тертям, що пропорційне їх відносній швидкості

$$R_{01} = k_0 \dot{\Delta}_{01}, \quad R_{02} = k_0 \dot{\Delta}_{02}, \quad R_{03} = k_0 \dot{\Delta}_{03}, \quad R_{04} = k_0 \dot{\Delta}_{04},
 \tag{9}$$

де: k_0 – коефіцієнт в'язкого тертя в шинах, $\dot{\Delta}_{01}, \dot{\Delta}_{02}, \dot{\Delta}_{03}, \dot{\Delta}_{04}$ – відповідні відносні швидкості

$$\dot{\Delta}_{01} = \dot{\eta}_1 - \dot{Z}_{01}, \quad \dot{\Delta}_{02} = \dot{\eta}_2 - \dot{Z}_{02}, \quad \dot{\Delta}_{03} = \dot{\eta}_3 - \dot{Z}_{03}, \quad \dot{\Delta}_{04} = \dot{\eta}_4 - \dot{Z}_{04}. \quad (10)$$

Дисипативні сили в першій ступені підвішування моделюються в'язким тертям, що пропорційне відноській швидкості відповідних елементів

$$R_{11} = k_1 \dot{\Delta}_{11}, \quad R_{12} = k_1 \dot{\Delta}_{12}, \quad R_{13} = k_1 \dot{\Delta}_{13}, \quad R_{14} = k_1 \dot{\Delta}_{14}, \quad (11)$$

де k_1 – коефіцієнт в'язкого тертя в першій ступені, $\dot{\Delta}_{11}, \dot{\Delta}_{12}, \dot{\Delta}_{13}, \dot{\Delta}_{14}$ – відповідні відносні швидкості

$$\begin{aligned} \dot{\Delta}_{11} &= \dot{Z}_{01} - \dot{Z}_1 + \dot{\phi}_1 a + \dot{\psi}_1 b, & \dot{\Delta}_{12} &= \dot{Z}_{02} - \dot{Z}_1 + \dot{\phi}_1 a - \dot{\psi}_1 b, \\ \dot{\Delta}_{13} &= \dot{Z}_{03} - \dot{Z}_1 - \dot{\phi}_1 a + \dot{\psi}_1 b, & \dot{\Delta}_{14} &= \dot{Z}_{04} - \dot{Z}_1 + \dot{\phi}_1 a - \dot{\psi}_1 b. \end{aligned} \quad (12)$$

Дисипативні сили в пневматичних елементах другої ступені підвішування визначаються розсіюванням енергії при перетіканні повітря із одного об'єму в інший через дросельну шайбу з визначеною площею отвору S_d і враховуються у відповідних термодинамічних рівняннях.

Диференційні рівняння коливальних процесів руху візка складаються з урахуванням вищенаведеного згідно з розподілом пружних та дисипативних сил в шестимасовій моделі (рис. 4).

Для коліс візка

$$M_0 \ddot{Z}_{01} = F_{01} - F_{11} + R_{01} - R_{11}, \quad (13)$$

$$M_0 \ddot{Z}_{02} = F_{02} - F_{12} + R_{02} - R_{12}, \quad (14)$$

$$M_0 \ddot{Z}_{03} = F_{03} - F_{13} + R_{03} - R_{13}, \quad (15)$$

$$M_0 \ddot{Z}_{04} = F_{04} - F_{14} + R_{04} - R_{14}. \quad (16)$$

Для опорної платформи

$$\begin{aligned} M_1 \ddot{Z}_1 &= F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + R_{11} + R_{12} + R_{13} + \\ &+ R_{14} - F_{21} - F_{22} - F_{23} - F_{24}, \end{aligned} \quad (17)$$

$$I_{1Y}\ddot{\phi}_1 = -F_{11}a - F_{12}a + F_{13}a + F_{14}a - R_{11}a - R_{12}a + \\ + R_{13}a + R_{14}a + F_{21}l + F_{22}l - F_{23}l - F_{24}l, \quad (18)$$

$$I_{1X}\ddot{\psi}_1 = -F_{11}b + F_{12}b - F_{13}b + F_{14}b - R_{11}b + R_{12}b - \\ - R_{13}b + R_{14}b + F_{21}f - F_{22}f + F_{23}f - F_{24}f, \quad (19)$$

де I_{1X}, I_{1Y} – приведені моменти інерції опорної платформи відносно, відповідно, осей X та Y .

Для вантажної платформи

$$M_2\ddot{Z}_2 = F_{21} + F_{22} + F_{23} + F_{24} - M_2g, \quad (20)$$

$$I_{2Y}\ddot{\phi}_2 = -F_{21}l - F_{22}l + F_{23}l + F_{24}l, \quad (21)$$

$$I_{2X}\ddot{\psi}_2 = -F_{21}f + F_{22}f - F_{23}f + F_{24}f, \quad (22)$$

де I_{2X}, I_{2Y} – приведені моменти інерції вантажної платформи відносно, відповідно, осей X та Y .

При складанні математичної моделі термодинамічних процесів в пневматичному ресорному підвішуванні використовуються результати раніше виконаних робот [17], відповідно до яких стан повітря в об'ємів чотирьох елементів системи, характеризується наступними параметрами: P – тиск, T – температура, G – маса, V – об'єм, ρ – щільність, C_p – теплоємність повітря в процесі P – const, C_v – теплоємність повітря в процесі V – const, R – газова постійна.

Додаткові геометричні параметри пневмосистеми: H_{II} – площа поверхні гумовокоордної оболонки, H_P – площа поверхні додаткового резервуару, S_d – площа отвору дросельної шайби.

Математична модель термодинамічних процесів при такті стиску i -тої пневморесори ($i = 1, 2, 3, 4$) при якому тиск в ній більший ніж у додатковому резервуарі, тобто при $P_{Pi} > P_{Pi}$, визначається наступною системою рівнянь.

Пневморесора

Кількість повітря, що перетікає через дросельну шайбу із пневморесори в додатковий резервуар

$$dG_{Pi} \cong -\mu S_d \sqrt{2\rho_{Pi}(P_{Pi} - P_{Pi})} dt, \quad (23)$$

де μ – коефіцієнт витікання повітря.

Закон зберігання енергії

$$RT_{II} dG_{II} - k_{II} H_{II} (T_{II} - T_0) dt - C_V G_{II} dT_{II} - P_{II} dV_{II} = 0, \quad (24)$$

де k_{II} – коефіцієнт теплопередачі матеріалу пневмооболонки.

Рівняння стану повітря

$$P_{II} dV_{II} + V_{II} dP_{II} - RT_{II} dG_{II} - RG_{II} dT_{II} = 0. \quad (25)$$

Внутрішній об'єм пневматичної оболонки, що залежить від її робочої висоти, визначається експериментально і вводиться в рівняння математичної моделі геометричною залежністю

$$V_{II} = f(\Delta_{2i}), \quad (26)$$

яка дає змогу на кожному кроці рішення диференціальних рівнянь математичної моделі визначати dV_{II} .

Додатковий резервуар

Зазначимо, що для додаткового резервуару при $V_{Pi} = \text{const}$, $dV_{Pi} = 0$.

Рівняння масового балансу

$$dG_{II} + dG_{Pi} = 0, \text{ або } dG_{Pi} = -dG_{II}. \quad (27)$$

Закон зберігання енергії

$$C_V T_{Pi} dG_{II} - C_V T_{II} dG_{II} - RT_{II} dG_{II} - k_P H_P (T_{Pi} - T_0) dt - C_V G_{Pi} dT_{Pi} = 0, \quad (28)$$

де k_P – коефіцієнт теплопередачі матеріалу додаткового резервуару.

Рівняння стану повітря

$$V_{Pi} dP_{Pi} + RT_{Pi} dG_{II} - RG_{Pi} dT_{Pi} = 0. \quad (29)$$

Аналогічно, (з урахуванням відповідної зміни знаків та напрямку перетікання повітря) будуються рівняння, що ви-

значають такт розширення пневморесори при якому тиск в ній менший ніж у додатковому резервуарі, тобто при $P_{Pi} < P_{Pi}$.

Висновки. Наведена вище математична модель просторових коливань візка для транспортування небезпечних вантажів, який має двоступеневе ресорне підвішування підвищеної якості, складається із системи силових (2, 4, 6, 9, 11), геометричних (3, 5, 7, 8, 10, 12, 27) механічних (13–22), та термодинамічних (23–29) рівнянь, що визначають параметри вимушеного руху цієї системи в процесі коливань, котрі спричиняються геометричними нерівностями абсолютно жорсткого профілю дороги заданої конфігурації $\eta = \eta(\xi)$.

ЛІТЕРАТУРА

1. До питання вибору конструкції другої ступені ресорного підвішування несамохідного візка для транспортування небезпечних вантажів / Ларін О.М., Калиновський А.Я., Соколовський С.А., Чернобай Г.О. // Наук. вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. / Науковий журнал №1 (25), 2012 – Київ, 2012. – С. 165 – 167.
2. Алабужев П.М. и др. Виброзащитные системы с квазиуравлевой жесткостью. –Л.: Машиностроение, 1986. 96 с.
3. Зайцев А.А., Радин С.Ю., Сливинский Е.В. Перспективный амортизатор для АТС // Автомобильная промышленность. Машиностроение. – 2007, №9 – С. 26–28.
4. Рыков А. А., Юрьев Г.С. Синтез упруго демпфирующих характеристик нелинейной виброзащитной системы // Материалы Сибирской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона». – Новосибирск, 2002. С. 37 – 41.
5. Лагутин В.Л. Некоторые особенности работы второй ступени ресорного подвешивания несамоходной тележки для транспортировки опасных грузов / Лагутин В.Л. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Science. Vol. 8. 2013 – Budapest: С. 110 – 112.
6. Илюшкин С.Н., Почтарь Д.Ю., Адашевский В.М., Чернобай Г.А. Тепловозы узкой колеи с пневматическим ресорным подвешиванием. – ВНИПИЭИлеспром, 1983, вып. 13, С. 9 – 10.

7. Болотин В.В. Случайные колебания упругих систем. – М.: Наука, 1979. – 336 с.
8. Гуляев В.И. и др. Прикладные задачи теории нелинейных колебательных систем. М.: Высшая школа, 1989. – 383 с.
9. Лазарян В.А. Некоторые современные проблемы динамики транспортных средств. В кн.: Нагруженность, прочность, устойчивость движения механических систем. – К.: Наук. думка, 1980. С. 3 – 43.
10. Силаев А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.
11. Механічна модель візка для транспортування небезпечних вантажів / Соколов Д.М., Соколовський С.А., Чернобай Г.О. // Вісті Автомобільно–дорожнього інституту: науково–виробничий збірник /АДІ ДонНТУ. – Горлівка, 2012. – № 1(14). – С. 91 – 94.
12. Побудова математичної моделі просторових коливань візка для транспортування небезпечних вантажів / Чернобай Г.О., Ларін О.М., Баркалов В.Г. //Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 135/2012. Серія Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012 – С. 105 – 109.
13. Герц Е.В. Пневматические приводы. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с.
14. Куценко С.М. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов. – Харьков: Вища школа, 1978. – 97 с.
15. Кирпичников В.Г., Адашевский В.М. Применение квазистационарного метода при исследовании термодинамических процессов в системе пневмоподвешивания локомотивов. – Весник ХПИ. – Харьков, 1977. №134, С. 3-5.
16. Калиновський А.Я. Використання квазістаціонарного методу для розрахунків пневматичної системи другої ступені ресорного підвішування несамохідного візка для транспортування вибухонебезпечних вантажів / Калиновський А.Я., Ларін О.М., Чернобай Г.О. // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 21–23 жовтня 2013 року : Збірник наукових праць. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – С. 188-189.
17. Калиновський А.Я. До питання визначення конструктивних параметрів пневматичних пружних елементів другої ступені ресорного підвішування візка для транспортуван-

- ня небезпечних вантажів / Калиновський А.Я., Лагутін В.Л., Ларін О.М., Цюлковський В.І., Чернобай Г.А. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2013. – Ч. 2, № 15 (204). – С. 200-203
18. Калиновський А.Я. Побудова математичної моделі вертикальних одновісних коливань візка для транспортування небезпечних вантажів із застосуванням пневматичних елементів в другій ступені підвішування / Калиновський А.Я., Ларін О.М., Ущипівський І.Л., Чернобай Г.О. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 17. С. 58 – 66.
19. Калиновський А.Я. Математична модель вертикальних одновісних коливань візка для транспортування небезпечних вантажів із застосуванням пневматичних елементів в другій ступені підвішування / Калиновський А.Я., Лагутін В.Л., Ларін О.М., Чернобай Г.О. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 18. С. 69-82
20. Lahutin V.L. Mathematical model of flat vertical oscillations of the trolley for transporting dangerous cargo with usage of pneumatic elements in the second stage of suspension / Lahutin V.L. // Science education a new dimension. Natural and technical sciences, I(2). – Budapesht, 2013. – Issue: 15. – 86-90.

Калиновский А.Я., Лагутин В.Л., Ларин А.Н., Чернобай Г.А.

Математическая модель пространственных колебаний тележки для транспортировки опасных грузов с пневматическим подвешиванием второй ступени

Рассматривается построение математической модели пространственных колебаний тележки для транспортировки опасных грузов, которая имеет рессорное подвешивание с применением пневмоэлементов во второй ступени

Ключевые слова: система рессорного подвешивания, пневматический упругий элемент, вертикальные колебания

Kalinovskiy A.Y., Lagutin V.L., Larin A.N., Chernobay G.A.

Mathematical model of spatial fluctuations trolley for transporting dangerous goods with a pneumatic hanging second stage

We consider the construction of a mathematical model of spatial fluctuations carts to transport hazardous cargo that has spring suspension using pneumoelements in the second degree

Key words: spring suspension, pneumatic elastic element, vertical vibrations

*Кочанов Е.О., канд. військ. наук, доц., ХНУ,
Попов І.І., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,
Толкунов І.О., заст. нач. каф., НУЦЗУ,
Туркін І.Б., д-р техн. наук, зав. каф., НАКУ «ХАІ»,
Шахов М.А., курсант, НУЦЗУ*

ОЦІНКА РАДІАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ ПРИ ПОЗАПРОЕКТНИХ АВАРІЯХ СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

(представлено д-ром техн. наук Туркіним І.Б.)

Запропонована модель щодо оцінки радіаційної обстановки, яка може виникнути внаслідок руйнування оболонок пеналів, в яких зберігається відпрацьоване ядерне паливо в сховищі «мокрого» типу Чорнобильської атомної електростанції. Також наведені розрахункові показники радіоактивного забруднення в зоні відчуження та в межах промислового майданчика станції при можливих позапроектних аваріях сховища відпрацьованого ядерного палива.

Ключові слова: радіоактивні матеріали, басейн витримки, ядерне паливо

Постановка проблеми. Потенційна небезпека експлуатації радіаційно-небезпечних об'єктів (РНО) полягає в можливості виникнення «критичності» і, відповідно, самопідтримуючої ланцюгової реакції при аварійних ситуаціях, а також при переробці, зберіганні та транспортуванні ядерного палива. Основний показник ступеня їх потенційної небезпеки, за інших рівних умов (надійність технологічних процесів, якість професійної підготовки фахівців тощо), – це загальна кількість радіоактивних речовин, які знаходяться на об'єкті.

Головними місцями накопичення радіоактивних відходів є атомні станції (АЕС), на яких здійснюється їх первинна переробка та тимчасове зберігання. На АЕС не існує повного циклу первинної переробки відходів відповідно до вимог та стандартів з ядерної і радіаційної безпеки, що призводить до нерационального використання сховищ та збільшує ризик радіаційних аварій [1].

У 30-кілометровій зоні Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) у тимчасових, не пристосованих для зберігання сховищах, зна-

ходиться велика кількість радіоактивних відходів, серед яких є відходи ядерної енергетики. Головним джерелом небезпеки у 30-кілометровій зоні Чорнобильської АЕС залишаються сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП), в яких зосереджені небезпечні радіоактивні речовини та ядерні матеріали, радіоактивність яких становить близько 20 МКюрі. При цьому забезпечення радіаційної безпеки потребує завчасного прогнозування наслідків можливих надзвичайних ситуацій радіаційного характеру. Тому оцінка радіаційної обстановки при позапроектних аваріях сховищ відпрацьованого ядерного палива ЧАЕС є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. 15 грудня 2000 року відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №598 «Про дострокове зняття з експлуатації ЧАЕС» від 29 березня 2000 року був зупинений енергоблок № 3. Із зупинкою 3-го енергоблоку ЧАЕС була повністю зупинена, і почався етап вивантаження ядерного палива із зупинених ядерних енергетичних реакторів. В даний час основна частина палива знаходиться в СВЯП-1, яке розташовується на території промайданчика ЧАЕС на північний захід від головного корпусу II-ої черги АЕС. СВЯП-1 - це сховище «мокрого типу», призначене для прийому і зберігання відпрацьованих тепловідділяючих збірок (ВТВЗ) після попередньої, не менше ніж 1,5-річної витримки їх в басейнах витримки (БВ) або реакторах енергоблоків, а також для операцій вивантаження ВТВЗ зі СВЯП-1 з наступним переміщенням їх в сховище «сухого типу», що будується (СВЯП-2). СВЯП-1 введено в експлуатацію у вересні 1986 року.

У тому ж 1986 році були розпочаті роботи з вивантаження відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) з БВ блоків №1 і №2 та розміщення його в БВ СВЯП-1. Експлуатація СВЯП-1 планується до введення в експлуатацію «сухого» сховища СВЯП-2 з урахуванням часу, необхідного для вивезення ВТВЗ зі СВЯП-1 в СВЯП-2. Планується, що сховище СВЯП-2 буде введено в експлуатацію в 2015 році. При цьому СВЯП-1 буде звільнено від ВЯП протягом 9-9,5 років (приблизно до 2025 року) [2].

Дані по кількості ВТВЗ, що знаходяться в басейнах витримки блоків та СВЯП-1 і наявності вільних місць для розміщення ВТВЗ на блоках та СВЯП-1, а також повне енергови-

ділення Q палива ТВЕЛ у ВТВЗ з початковим збагаченням 2,4% по ^{235}U , глибиною вигорання 24 МВт · добу/кг залежно від часу витримки (табл. 1), дозволяють розрахувати сумарне енерговиділення ВТВЗ при виникненні позапроектних аварій СВЯП-1 ЧАЕС [3, 4].

Таблиця 1 - Повне енерговиділення Q палива ТВЕЛ у ВТВЗ

Q , [МВт]	Витримка, років					
	7	10	20	30	50	100
	53,8	46,1	36,1	29,8	20,9	10,4

Кількість відпрацьованого палива у БВ приблизно однакова. При проведенні прогностичної оцінки наслідків позапроектної аварії СВЯП-1 різниця в енерговиділенні буде не істотна. При цьому доцільно оцінювати наслідки руйнування ВТВЗ в БВ при максимальному 10% виході активності. Існуюче нормативно-методичне забезпечення оцінки радіаційної обстановки при аваріях РНО не в повній мірі враховує особливості радіоактивного забруднення при можливому руйнуванні СВЯП [5-7].

Постановка завдання та його вирішення. Задача даної роботи полягає в удосконаленні методичного забезпечення оцінки радіаційної обстановки при аваріях РНО, яка повинна враховувати особливості ситуації, що пов'язана з повним зневодненням басейнів витримки СВЯП, та визначені вірогідних показників радіоактивного забруднення при даних видах аварій.

Мета роботи – визначення площі території забруднення радіоактивними речовинами в результаті позапроектної аварії СВЯП-1 ЧАЕС, а також дозові навантаження персоналу станції і населення, що проживає на даній території, на основі удосконалення моделі оцінки радіаційної обстановки при аварії (руйнуванні) РНО.

Значення показників радіоактивного забруднення залежать від концентрації радіоактивних речовин в аерозольній хмарі. Точність оцінки значення концентрації буде залежати від моделі джерела забруднення та моделі розповсюдження радіоактивних речовин у приземному шарі атмосфери. Для визначення початкової потужності джерела радіоактивного

забруднення для СВЯП використовується вираз, що визначає енерговиділення СВЯП і час, який минув після аварії [8, 9]

$$Q_0 \approx 2,3 \cdot 10^{14} P \cdot t^{-0,21}, \quad (1)$$

де Q_0 – потужність джерела радіоактивного забруднення, МеВ/с; P – повне енерговиділення ВТВЗ, кВт; t – час, що минув після аварії, с; $2,3 \cdot 10^{14}$ – коефіцієнт перерахунку потужності джерела зараження, МеВ/кВт·с.

Визначення залишкової концентрації радіоактивних речовин у хмарі проводиться за формулою [9, 10]

$$q'_i = \frac{Q_0}{\pi^{3/2} C_x \cdot C_y \cdot C_z \cdot \xi^{3(2-n)/2}} \cdot \exp\left(-\frac{4v_g \xi^{n/2}}{n \cdot u \cdot \pi^{1/2} C_z^{n/2}} - \frac{x^2}{C_x^2 \cdot \xi^{2-n}}\right) \times \\ \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{C_y^2 \cdot \xi^{2-n}} - \frac{z^2}{C_z^2 \cdot \xi^{2-n}}\right), \quad (2)$$

де q'_i – концентрація радіоактивних речовин у хмарі, МэВ/с·м³; Q_0 – початкова потужність джерела, МеВ/с; n – безрозмірний параметр, що пов'язаний зі стійкістю атмосфери; ξ – параметр, що враховує зміну концентрації радіоактивних речовин при проходженні радіоактивною хмарою відстані в напрямку вітру за інтервал часу від 0 до t , м; u – середнє значення швидкості вітру, м/с; x, y, z – координати об'єкта оцінки обстановки, м; C_x^2, C_y^2, C_z^2 – коефіцієнти дифузії відповідно в напрямку осей OX, OY, OZ , м; $v_{\bar{e}}$ – швидкість осідання радіоактивних речовин із хмари на поверхню землі, м/с.

Розміри зони забруднення місцевості, тимчасові показники і показники небезпеки такі, як потужність дози іонізуючих випромінювань і доза випромінювання від радіоактивного забруднення місцевості, визначаються концентрацією радіоактивних речовин у поверхні землі або щільністю радіоактивного забруднення. При визначенні щільності радіоактивного забруднення значення координати z дорівнює нулю. Для визначення значення концентрації радіоактивних речовин біля поверхні землі шляхом інтегрування за часом і по координаті x використовується вираз

$$q'_{mi} = \frac{2Q_0 \cdot v_g}{u \cdot \pi \cdot C_y \cdot C_z \cdot \xi^{2-n}} \exp\left(-\frac{4v_g \xi^{n/2}}{n \cdot u \cdot \pi^{1/2} C_z} - \frac{y^2}{C_y^2 \cdot \xi^{2-n}}\right), \quad (3)$$

де q'_{mi} – концентрація радіоактивних речовин біля поверхні землі, $\text{MeV}/\text{с} \cdot \text{м}^2$; v_g – швидкість осідання радіоактивних речовин із хмари на поверхню землі, $3,1 \cdot 10^{-3}$ м/с; C_y^2 , C_z^2 – коефіцієнти дифузії відповідно в напрямку осей OY , OZ , м [9, 10]

$$C_y^2 = C_z^2 = \frac{4\nu^n}{(1-n) \cdot (2-n) \cdot u^n} (tg\sigma_\alpha)^{2 \cdot (1-n)}, \quad (4)$$

де σ_α – середньоквадратичне відхилення горизонтального напрямку вітру від середнього напрямку; ν – коефіцієнт молекулярної дифузії повітря або кінематична в'язкість повітря, яка є постійною величиною, $\nu = 1,323 \cdot 10^{-10}$, $\text{м}^2/\text{с}$.

Величина показників небезпеки радіоактивного забруднення визначається за значенням концентрації радіоактивних речовин в хмарі і біля поверхні землі. Перший показник, який необхідно оцінити, – це значення еквівалентної дози опромінювання, яку отримає людина від радіоактивної хмари. Ця доза може бути визначена за співвідношенням, $\text{MeV}/\text{г}$ [8]

$$D_{uzli}^P = \mu_m \int_0^t F_n(\tau) dt, \quad (5)$$

де μ_m – масовий коефіцієнт послаблення, $\text{м}^2/\text{г}$; F_n – флюенс енергії гама-випромінювання, $\text{MeV}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; $1 \text{ мЗв} = 6,25 \cdot 10^7 \text{ MeV}/\text{г}$.

Дозу гама випромінювання, яку отримає людина від радіоактивної хмари, не можна визначити без урахування умов перебування населення, коли необхідно врахувати ступінь ослаблення іонізуючих випромінювань захисними спорудами і різними будівлями. На практиці ступінь ослаблення враховується шляхом введення додаткового параметра – коефіцієнта послаблення. Коефіцієнт послаблення для різних об'єктів є довідковою величиною. Виходячи із зазначеного, вираз для визначення дози опромінювання, яку отримає людина від радіоактивної хмари, буде мати вигляд, мЗв

$$D_{изл\ i}^P = \frac{\mu_m}{6,25 \cdot 10^7 K_{осл}} \int_0^t \frac{q'_i \cdot z \cdot f(t)}{3} dt, \quad (6)$$

де q'_i – концентрація радіоактивних речовин у хмарі, $\text{MeB/c}\cdot\text{м}^3$; $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення; z – висота підйому аерозольної радіоактивної хмари, м ; $f(t)$ – функція, що враховує середній спад активності радіоактивних речовин; μ_m – масовий коефіцієнт ослаблення іонізуючих випромінювань, який для організму людини дорівнює $5,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{г}$; t – час, на який відбувається визначення дози гама-випромінювання від радіоактивної хмари, с (при виборі останнього параметра необхідно дотримуватися умови: $t \leq x/u$).

Значення інгаляційної дози визначається за формулою, мЗв [8]

$$D_{изл\ вн\ i} = V \cdot t \cdot k \cdot q_i, \quad (7)$$

де V – об'єм легеневої вентиляції людини (для дорослої людини при середньому фізичному навантаженні $V = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$; t – час надходження радіоактивного йоду в організм людини, с ; k – коефіцієнт пропорційності між питомою активністю газоподібних радіоактивних речовин у повітрі та дозою випромінювання в організмі людини, $\text{мЗв}\cdot\text{с}/\text{MeB}$; q_i – концентрація газоподібних радіоактивних речовин в аерозольній хмарі, яка залежно від умов зниження концентрації радіоактивних речовин в хмарі визначається, як $q'_i/10$, $\text{MeB/c}\cdot\text{м}^3$.

В результаті взаємодії радіоактивних речовин, які принесені з радіоактивної хмари, з поверхнею землі відбувається радіоактивне забруднення місцевості. Дозу опромінювання населення від забрудненої радіоактивними речовинами місцевості пропонується визначати залежністю, мЗв [8]

$$D_{изл\ РЗМ\ i}^P = \frac{P_1 \cdot K_{опр}}{K_{осл}}, \quad (8)$$

де P_1 – потужність дози через одну годину після руйнування ядерного реактору, $\text{мЗв}/\text{год}$; $K_{опр}$ – коефіцієнт опромінення,

який визначається як функція часу початку (t_{np}) і тривалості (T_{np}) знаходження на забрудненій місцевості

$$K_{obl} = \zeta \cdot [(t_{np} + T_{np})^{0,71} - t_{np}^{0,71}]. \quad (9)$$

Таблиця 2 – Значення показників радіоактивного забруднення за результатами оцінки радіаційної обстановки при поза-проектній аварії СВЯП за межами промайданчика ЧАЕС

№ з/п	Показник радіоактивного забруднення	Кількість відпрацьованого ядерного палива	Відстань від енергоблоку, км									
			2	5	10	15	20	25	30	35	40	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Внутрішня доза опромінення, мЗв	У басейнах витримки СВЯП-1 зберігається 2435253 кг відпрацьованого ядерного палива з енерговиділенням 112265,166 кВт	26,1	22,8	20,7	19,6	14,2	12,7	8,6	3,4	2,5	
	Потужності доз ІВ на 1 годину після аварії БВ, мЗв/год		1,5	1,2	1,1	1,1	0,8	0,7	0,5	0,2	0,14	
	Доза від зовнішнього опромінення за 4 доби, мЗв		20,3	17,7	16,0	15,2	11,1	10,6	6,6	2,6	2,0	
	Доза від зовнішнього опромінення за 14 діб, мЗв		29,7	25,9	23,5	2,3	16,2	15,6	9,7	3,9	2,9	
	Доза від зовнішнього опромінення за 1 годину, мЗв		16,1	14,1	12,8	12,1	8,8	8,5	5,3	2,1	1,6	

Потужність дози опромінення визначається із співвідношення, мЗв/год

$$P = \alpha \cdot t^{-0,29} \cdot q'_{mi}, \quad (10)$$

де t – час, на момент якого відбувається визначення потужності дози гама-випромінювання, с; α – чисельний коефіцієнт, що враховує лінійний коефіцієнт ослаблення, середній спад активності за одну годину і перерахунок розмірності часу, на момент якого відбувається визначення потужності дози гама-випромінювання в годину, $\alpha = 7,18 \cdot 10^{-14} \text{ мЗв} \cdot \text{м}^2 / \text{МэВ} \cdot \text{с}$.

Таблиця 3 – Значення показників радіоактивного забруднення за результатами оцінки радіаційної обстановки при позапроектній аварії СВЯП в межах проммайданчика ЧАЕС

№ з/п	Показник радіоактивного забруднення	Кількість відпрацьованого ядерного палива	Відстань від енергоблоку, м			
			100	200	500	1000
1	Внутрішня доза опромінення, мЗв	У басейнах витримки СВЯП-1 зберігається 2435253 кг відпрацьованого ядерного палива з енерговиділенням 112265,166 кВт	46,5	39,7	33,1	29,2
2	Потужності доз ІВ на 1 годину після аварії БВ, мЗв/год		2,6	2,2	1,8	1,6
3	Доза від зовнішнього опромінення за 4 доби, мЗв		41,3	30,8	25,6	23,2
4	Доза від зовнішнього опромінення за 14 діб, мЗв		52,8	45,1	37,6	33,2
5	Доза від зовнішнього опромінення за 1 годину, мЗв		28,7	24,5	20,4	18,1

Результати моделювання радіаційної обстановки в межах промислової площадки ЧАЕС і в зоні відчуження при 10% викиді радіоактивних речовин наведено в таблиці 2 та таблиці 3.

Оцінка радіаційної обстановки при позапроектних аваріях сховища відпрацьованого ядерного палива

ці 3. Дози опромінювання розраховувалися для населення, яке знаходиться на території зони відчуження з моменту початку аварії.

Висновки. Запропонована модель оцінки радіаційної обстановки при позапроектних аваріях СВЯП АЕС, яка дозволяє визначити площу території та ступінь забруднення радіоактивними речовинами в результаті означеної аварії, а також дозові навантаження персоналу станції і населення, що проживає на забрудненій території.

Результати моделювання наслідків можливої позапроектної аварії СВЯП-1 ЧАЕС показують, що в зоні радіоактивного забруднення складається радіаційна обстановка, яка призводить до променевого ураження населення. В усіх випадках значення сумарних доз опромінювання протягом перших двох тижнів після аварії не досягають рівня, при якому відповідно до НРБУ-97 здійснюється негайна евакуація населення. Однак перевищений нижній рівень (5 мЗв), що передбачає укриття людей [11, 12].

ЛІТЕРАТУРА

1. Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. – М.: Деловой экспресс, 2002.
2. Концепция снятия с эксплуатации ЧАЭС. – Славутич: Державне спеціалізоване підприємство «ЧАЭС», 2002.
3. Гарабаев Б.А. и др. Данные о составе топлива для хранилища отработавших ТВС ЧАЭС. Отчет НИИ атомной энергетики 16.900 От, Проект С-2, декабрь 1997.
4. Комплект отчетов по результатам комплексного инженерного и радиационного обследования энергоблоков № 1, 2 ЧАЭС. – Славутич: Державне спеціалізоване підприємство «ЧАЭС», 2008. – 168 с.
5. Методика спостережень щодо оцінки радіаційної та хімічної обстановки. Наказ МНС України №186 від 06.08.2002р.
6. Дуриков А.П. Оценка радиационной обстановки на объекте народного хозяйства. – М.: Воениздат, 1975. – 95 с.
7. Владимиров В.А. и др. Методика выявления и оценки радиационной обстановки при разрушении (авариях) атомных электростанций. – М.: ГИИ ВС СССР, 1989.

8. Кочанов Э.А. Оценка последствий разрушений экологически опасных объектов /Э.А.Кочанов, В.Ф.Пахоменко, П.В.Маркин // Зб. наук.пр. Харк. військ. ун-т. – Х., 1999. – Вып. 4 (26). – С. 130-137.
9. Хоскер Р.П. Оценки сухого осаждения и уменьшения факела над лесами и лугами. / Р.П. Хоскер // Труды симпозиума по физическому поведению радиоактивных загрязнителей в атмосфере (Proc.Symp. on Physical Behavior of Radioactive Contaminants in the Atmosphere). – Вена: МАГАТЭ, 1974. – С.74-78.
10. Смит Ф.Б. Схема оценки вертикальной дисперсии факела от источника вблизи уровня земли. / Ф.Б. Смит // Труды 3-го совещания экспертной комиссии по моделированию загрязнения воздуха”(Proc. 3rd Meeting of an expert panel on air pollution modeling). – Париж: октябрь 1972. – С.112-116.
11. Нормы радиационной безопасности Украины. НРБУ 97. ДГН 6.6.1-6.5.001-98, ДНАОП 0.03-3.24-97.
12. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности Украины. ГСП 6.177-2005-09-02.

Кочанов Э.А., Попов И.И., Толкунов И.А., Туркин И.Б., Шахов М.А.

Оценка радиационной обстановки при внепроектных авариях хранилища отработанного ядерного топлива

Предложена модель для оценки радиационной обстановки, которая может возникнуть вследствие разрушения оболочек пеналов, в которых хранится отработанное ядерное топливо в хранилище «мокрого» типа Чернобыльской атомной электростанции. Также приведены расчетные показатели радиоактивного загрязнения в зоне отчуждения и в пределах промышленной площадки станции при возможных внепроектных авариях хранилища отработанного ядерного топлива.

Ключевые слова: радиоактивные материалы, бассейн выдержки, ядерное топливо

Kochanov E.A., Popov I.I., Tolkunov I.A., Turkin I.B., Shakhov M.A.

Assessment of radiation environment during beyond design basis accidents storage for spent nuclear fuel

The model of evaluation of the radiation situation that may occur due to the destruction of the membranes of the canisters containing spent nuclear fuel in storage «wet» type Chernobyl nuclear electrostation. Also shown are calculated indicators of radioactive contamination in the exclusion zone and within the industrial site of the station if possible beyond design basis accidents storage for spent nuclear fuel.

Key words: radioactive materials, cooling pool, nuclear fuel

*Предко В.О., нач. упр. ВД ФССНВВтаПЗУ в Харк. обл.,
Мішеніна О.С., зав. лаб., НУЦЗУ,
Стрілець В.М., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ*

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЦЬ ЗАСТОСУВАННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ

(представлено д-ром техн. наук Андроновим В.А.)

Показано, що статистичний метод доцільно використовувати для країни в цілому або великих галузей економіки; статистичний метод по об'єднаній вибірці – як для підгалузей економіки, так і окремих регіонів; ймовірно-статистичні – для великих підприємств; експертно-статистичний – для малих підприємств та діляниць; експертний метод – для робочого місця

Ключові слова: професійний ризик, методи розрахунку, статистична оцінка, нещасний випадок

Постановка проблеми. Забезпечення безпеки населення від різних техногенних джерел в розвинених країнах уже кілька десятиліть здійснюється на основі концепції прийнятного ризику [1], що вимагає кількісного визначення ризику і порівняння його з прийнятним рівнем.

Одним з різновидів техногенних ризиків виступає професійний ризик, який пов'язаний з професійною діяльністю і є результатом дії комплексу різного роду причин: технологічних, організаційних, соціальних та економічних. І саме управління професійним ризиком, яке базується на його кількісній оцінці, є методологічною основою сучасного підходу до організації робіт у сфері охорони праці [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що питання про управління ризиками все більш активно обговорюється і досліджується стосовно природі [3], до техносфери [4], до суспільного та державного управління [5], до економіки [6,7]. Причина цього - в стійкому зростанні різноманіття і масштабів проявлення явища ризику і пов'язаних з цим проблем, підвищення в процесі соціально-економічного розвитку чутливості людини та створених ним організацій вже не до масових, а до рідкісних негативних явищ.

Законодавчо певне тлумачення терміну «професійний ризик» - це вірогідність пошкодження здоров'я або втрати працездатності або смерті працюючого в результаті дії шкідливих і (або) небезпечних виробничих чинників [8].

По аналогії з іншими сферами оцінка професійних ризиків може відбуватися якісними [9,10] і кількісними методами [11,12]. При цьому якісні методи оцінки ризиків використовуються для виявлення і ідентифікації існуючих причин і видів ризиків, а кількісні - для оцінки частоти або вірогідності певних серйозних наслідків в результаті цих ризиків. Звичайно, методи кількісної оцінки більш трудомісткі, і їх вживання зазвичай пов'язане із залученням фахівців з різних областей. Проте їм властивий і ряд переваг: по-перше, лише чисельно виражені ризики або їх компоненти можна порівнювати між собою; по-друге, оцінка відтворна, тобто розрахунки можна повторити; по-третє, значення, отримані шляхом розрахунків, є об'єктивнішими, ніж засновані на якісному порівнянні [12].

Постановка завдання та його вирішення. Виходячи з наведеного вище, поставлена задача оцінки границь застосування існуючих підходів до визначення професійного ризику.

Для оцінки показників професійних ризиків застосовують статистичні, статистичні по об'єднаній вибірці, ймовірнісно-статистичні, експертно-статистичні та експертні методи .

Статистичний метод [13] забезпечує найбільшу точність оцінки (за наявності достатньої статистики). У відповідності зі статистичним методом показник професійного ризику отримання працівником травми в результаті нещасного випадку на виробництві можна оцінити за формулою

$$v_{нс} = n_{нс} / N_p, [1/(\text{чол.} \cdot \text{рік})], \quad (1)$$

де $n_{нс}$ - число нещасних випадків на виробництві на рік на підприємстві (в галузі, на території) ; N_p - чисельність персоналу, що піддається оцінці ризику за рік, що розглядається.

Загальна кількість зареєстрованих нещасних випадків у 2012 році в Україні за даними ФСВНВтаПЗ [14] - 9816 випадків, у тому числі зі смертельними наслідками - 623 випадки. Для подальших кількісних оцінок приймемо чисельність працюючих в Україні дорівнює 10,2 млн. чол.

Тоді індивідуальна ймовірність постраждати від нещасного випадку буде приблизно дорівнювати

$$v_{нс}(\Delta t) = \frac{n_{нс}}{N_p} = \frac{9816 \text{ нв/рік}}{10,2 \cdot 10^6 \text{ чол.}} = 0,962 \cdot 10^{-3} [(\text{чол.} \times \text{рік})^{-1}] \quad (2)$$

а величина професійного ризику загибелі на виробництві в Україні

$$v_{см}(\Delta t) = \frac{n_{см}}{N_p} = \frac{623 \text{ смертей/рік}}{10,2 \cdot 10^6 \text{ чол.}} = 6,11 \cdot 10^{-5} [(\text{чол.} \times \text{рік})^{-1}] \quad (3)$$

У припущенні біноміального розподілу числа постраждалих із загального числа, яке підлягало оцінці професійного ризику, статистична невизначеність оцінок (2,3) характеризується відносною похибкою [15]

$$\delta_Q = \frac{Z_\gamma}{\sqrt{v N_p}} \quad (4)$$

де Z_γ – квантиль нормального розподілу рівня γ .

Очевидно, чим менше оцінювана частота події v і наявний обсяг спостережень N_p , тим більше буде статистична похибка.

Оцінимо, яким повинен бути обсяг спостережень, при якому можлива практична реалізація статистичного методу оцінки професійного ризику отримання виробничої травми працівника на виробництві з похибкою $\delta_{v, \text{нотр}} = 10\%$. Приймемо довірчу ймовірність $\gamma = 0,9$. Їй відповідає значення $Z_\gamma = 1,282$ [15]. Отримаємо з (7) співвідношення для обсягу спостережень, необхідного для виконання зазначеного обмеження

$$N_p \geq \frac{Z_\gamma^2}{v \delta_{v, \text{нотр}}^2} \quad (5)$$

Для умов наведеного прикладу мінімальний обсяг спостережень для оцінки професійного ризику виникнення нещасного випадку на виробництві повинен бути близько

$$N_p \geq \frac{Z_\gamma^2}{v\delta_{v_{\text{треб}}}^2} = \frac{1,282^2}{0,962 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1^2} \approx 170 \cdot 10^3, \quad (6)$$

а для оцінки професійного ризику виникнення нещасного випадку зі смертельними наслідками

$$N_p \geq \frac{Z_\gamma^2}{v\delta_{v_{\text{треб}}}^2} = \frac{1,282^2}{6,11 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1^2} \approx 2,69 \cdot 10^6. \quad (7)$$

Видно, що показники (6) та (7) задовольняються, як правило, лише для великих галузей економіки.

Для забезпечення необхідної точності оцінки показника професійного ризику отримання травми при недостатності фактично виявлених подій протягом одного року можна збільшувати обсяг спостережень за рахунок збільшення інтервалу спостереження, тобто шляхом об'єднання наявних статистик за ряд послідовних років (статистичний метод по об'єднаній вибірці).

Оскільки наступ несприятливого події (інциденту, нещасного випадку, загибелі або умовної події, яка їх узагальнює) на робочому місці працівника є рідкісною подією, уявімо ці випадки у вигляді пуассонівського потоку випадкових подій [16]. Тоді оцінка частоти події для i -го робочого місця визначається за формулою

$$\lambda_i = \frac{n_i}{t_i} \text{ [рік}^{-1}\text{]}, \quad (8)$$

де n_i - число подій на i -му робочому місці за час t_i , років.

Усереднена частота нещасних випадків зі смертельним результатом для сукупності з N_p працюють в однакових умовах оцінюється за формулою

$$\lambda = \frac{n}{S}. \quad (9)$$

де $n = \sum_{i=1}^{N_p} n_i$ - сумарне число подій за сумарне напрацювання всіх N_p

$$\text{працюючих } S = \sum_{i=1}^{N_p} t_i. \quad (10)$$

Уявімо $S = N_p T$, де T - середнє напрацювання на одного працюючого за один рік. Тоді

$$\lambda = \frac{n}{N_p T}. \quad (11)$$

При $\lambda \cdot \Delta t \ll 1$ для експоненціального розподілу часу між нещасними випадками має місце приблизна рівність

$$\nu(\Delta t) = \lambda \Delta t. \quad (12)$$

Тобто, індивідуальна ймовірність постраждати від нещасного випадку буде за 5 років приблизно дорівнювати

$$\nu(1 \div 5) = 5 \cdot \lambda = 5 \cdot 9,62 \cdot 10^{-4} = 4,81 \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

а величина професійного ризику загибелі на виробництві в Україні за 5 років

$$\nu_{cm}(1 \div 5) = 5 \cdot \lambda = 5 \cdot 6,11 \cdot 10^{-5} = 3,55 \cdot 10^{-4}. \quad (14)$$

Виходячи з (5) для забезпечення статистичної похибки 10% при довірчій ймовірності $\gamma = 0,9$ чисельність персоналу, що піддається оцінці індивідуальної ймовірності постраждати від нещасного випадку за 5 років, повинна бути

$$N_p \geq 3,4 \cdot 10^4, \quad (15)$$

а професійного ризику загибелі на виробництві в Україні за 5 років –

$$N_p \geq 5,38 \cdot 10^5. \quad (16)$$

З таблиці 6 [15] при $\gamma = 0,9$ визначаємо, що кількість врахованих спостережень (подій) $n = N_p \nu$, необхідних для забез-

печення статистичної похибки 10%, повинно бути не менше 128 випадків.

Таким чином, обмеження на точність оцінки показника професійного ризику буде виконуватися при чисельності працівників, що зазнають професійного ризику загинути на виробництві, що перевищує 538 тис. чол. Це може стосуватись, як підгалузей економіки, так і окремих регіонів.

Безпосередні ймовірно-статистичні методи застосовуються при відсутності достатньої статистики і заснований на залученні математичних моделей. За їх допомогою можна отримати коректну оцінку показника професійного ризику на великих підприємствах із середньорічним числом нещасних випадків при існуючому рівні виробничого травматизму від 1 до 10 і саме вони лежать в основі Планів ліквідації аварійних ситуацій [17].

У середньому по промисловості України частка q нещасних випадків зі смертельним результатом від загального числа нещасних випадків з урахуванням динаміки її зміни можна прийняти рівною 0,06 (див. вирази (1) і (2)). Для галузей (підгалузей) промисловості, окремих підприємств ця величина може відрізнятись в більшу або меншу сторону, але в цілому при великому обсязі вибірки цей показник має бути досить стабільним.

Нехай n_{Σ} - загальне число нещасних випадків на виробництві на розглядаємому підприємстві в оцінюваному році. Тоді повна індивідуальна ймовірність постраждати від нещасного випадку обчислюється за формулою

$$v_{\Sigma} = n_{\Sigma} / N_P. \quad (17)$$

Порядок цієї величини для промисловості України (2) – $0,962 \cdot 10^{-3}$ (чол. • рік)⁻¹. Відповідно до (6) необхідний обсяг спостережень для оцінки цієї величини з необхідною точністю статистичним методом складе 160 тис. чол. Отже, вимоги щодо необхідних обсягів спостережень завдяки використанню додаткової інформації знижуються майже ніж у 16 разів (2,69 млн. / 170 тис.). В результаті при використанні даних за ряд років показник професійного ризику смерті можна оцінити вже і для великих підприємств.

Показник професійного ризику смерті відповідно до ймовірно-статистичного методу (навіть за відсутності нещасних

випадків зі смертельним результатом на даному підприємстві) може бути оцінений за формулою

$$V_{cm} = v_{\Sigma} q. \quad (18)$$

За припущень, що під час аварії може мати місце один нещасний випадок, мінімальна кількість працюючих на об'єкті для застосування безпосередніх ймовірно-статистичних методів повинна бути

$$N_p = \frac{n_{нв}}{v_{нв}} = \frac{1}{0,962 \cdot 10^{-3}} \approx 10^4 \text{ чоловік.} \quad (19)$$

Таким чином, ймовірно-статистичні методи підходять для великих підприємств.

Експертно-статистичний і експертний методи застосовуються при відсутності статистичних даних безпосередньо з даного об'єкту і засновані на використанні знань і досвіду експертів [18].

Експертно-статистичний метод (характерним прикладом є визначення ступеня базового ризику з подальшою розробкою у відповідності до отриманого значення тих чи інших заходів [12]) заснований на використанні інтегральної оцінки показника професійного ризику R_{np} по групі підприємств (наприклад, у підгалузі) і порівняльних оцінок професійного ризику для підприємств, які входять у розглянуту групу, що одержуються експертним методом з урахуванням непрямих показників травматизму. Його застосування є доцільним для кількісної оцінки показника професійного ризику на середніх і малих підприємствах, де нещасний випадок на виробництві - подія досить рідкісна, яка відбувається 1-2 рази на рік або рідше, тобто статистика практично відсутня.

Найбільш часто в тих випадках, коли та сама діяльність може бути виконана різними способами і її можуть однаково ефективно здійснювати лиця з різними якостями, що компенсують відсутні якості індивідуальним стилем роботи чи іншим способом, звертаються до суб'єктивних критеріїв оцінки ефективності діяльності – методу експертних оцінок [18]. Його суть – оцінка експертами рівня виконання вимог безпеки на конкретному робочому місці. При цьому експерти аналізують усі фактор, що впливають на безпеку.

Висновки:

Результати аналізу методів визначення професійного ризику показують, що масштаб і рівень складності розв'язуваної задачі в значній мірі визначають і вибір методу її вирішення.

Визначено, що статистичний метод доцільно використовувати для країни в цілому або великих галузей економіки; статистичний метод по об'єднаній вибірці – як для підгалузей економіки, так і окремих регіонів; ймовірно-статистичні – для великих підприємств; експертно-статистичний – для малих підприємств та діляниць; експертний метод – для робочого місця.

Всі методи, крім статистичного, застосовуються вимушено. На точність одержуваних з їх допомогою оцінок впливає точність залучаємої додаткової інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Руководство по системам управления охраной труда. (МОТ–СУОТ 2001) / (ILO-OSH 2001) [Текст]/ пер. с англ. - Женева: Международное бюро труда, 2003.- 28 с.
2. ГОСТ Р 12.0.010 – 2009. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков [Текст]. - [Дата введения 01-01-2011]. – М.: Стандартинформ, 2011 - 20 с.
3. Оценка и управление природными рисками // Материалы Общероссийской конференции “Риск-2000”. – М.: Анкил, 2000. – 478 с.
4. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. –М.: Машиностроение, 1981. –526 с.
5. Стратегические риски России: оценка и прогноз/ Под ред. Ю.Л. Воробьева. Акимов В.А., Лесных В.В., Порфирьев Б.Н., Радаев Н.Н. – М.: Деловой экспресс, 2005.
6. Гранатуров В.М. Экономический риск: сущность, методы измерения, пути снижения. М.: Дело и сервис, 2002.
7. Хохлов Н.В. Управление риском. - М.: ЮНИТИ, 2001.
8. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (Редакція станом на 18.11.2012)
9. Радаев Н.Н. Определение уровней рисков в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера / Радаев

- Н.Н. // Изв - я РАН. Сер. Географическая. - 2003. - №5. – С. 23-28
10. Радионов Н. Оценка рисков как главный механизм безопасности – Научно-виробничий журнал «Охорона праці» (На допомогу спеціалісту з охорони праці) - №12/2012 – С.52-54
 11. Молодкина Н.Н. Проблемы профессионального риска и некоторые подходы к его оценке/ Молодкина Н.Н., Попова Т.Б., Радионова Г.К., Корбакова Л.И.// Медицина труда и пром. экология. – 1997. - № 9. - С. 47-62
 12. Гогіташвілі Г.Г. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. / Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.-Т., Лапін В.М. — К., 2007. — 367 с.
 13. Старостина А. О. Ризик-менеджмент. Теорія та практика: навчальний посібник / А. О. Старостина, В. А. Кравченко. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2004. – 224 с.
 14. Аналіз страхових нещасних випадків на виробництві та профзахворювань за 2012 рік / Фонд соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України – Режим доступу: <http://www.social.org.ua/view/3015>
 15. ГОСТ 11.005-74. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров экспоненциального распределения и распределения Пуассона. –29 с.
 16. Стрелец В.М. Анализ возможностей прогнозирования производственного травматизма / В.М. Стрелец, В.Ю. Осипов, А.В. Зинченко // Материалы двадцать второй международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2013», 28 ноября 2013 г. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – С.18-19
 17. Наказ Комітету по нагляду за охороною праці України Міністерства праці та соціальної політики України від 17 червня 1999 року № 112 «Про затвердження Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій»
 18. Гохман О.Г. Экспертное оценивание [Текст]/ Гохман О.Г. – Изд-во Воронежского ун-та, 1991. –152 с.

Предко В.А., Мишенина О.С., Стрелец В.М.

Определение границ использования существующих методов расчета профессионального риска

Показано, что статистический метод целесообразно использовать как для страны в целом, так и для крупных отраслей экономики; статистический метод по объединенной выборке – как для подотраслей экономики, так и для отдельных регионов; вероятностно-статистические – для крупных предприятий; экспертно-статистический – для малых предприятий и участков; экспертный метод - для рабочего места

Ключевые слова: профессиональный риск, методы расчета, статистическая оценка, несчастный случай рабочего места

Predko V.A., Mishenina O.S., Strelec V.M.

Delimitation of the use of existing methods for calculating the occupational risk

It is shown that the statistical method should be used for the whole country or large industries; statistical method to the joint sample – for sub-industries, and individual regions; probabilistic and statistical – for large enterprises; statistical expert – for small businesses and sites; expert method - for the workplace

Key words: professional risk, calculation methods, statistical evaluation, workplace accidents

УДК 681.5

*Рогозін А.С., канд. техн. наук, докторант, НУЦЗУ,
Левченко Р.Т., ад'юнкт, НУЦЗУ*

**АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ ЗМІНИ ЙМОВІРНОСТЕЙ
ЗНАХОДЖЕННЯ СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В СТАНІ
ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

(представлено д-ром техн. наук Чубом І.А.)

Визначено характер перехідного процесу зміни станів залучення сил цивільного захисту до ліквідації надзвичайних ситуацій, розглядаючи залучення, як однорідний марковський процес

Ключові слова: залучення, сили цивільного захисту, ліквідація, зміна ймовірності, надзвичайна ситуація

Постановка проблеми. Забезпечення безпеки населення та території нашої країни від надзвичайних ситуацій

Аналіз перехідного процесу зміни ймовірностей знаходження сил цивільного захисту в стані ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

різного характеру є однією з головних функцій держави. Для забезпечення цивільного захисту країна витрачає відповідні матеріальні та людські ресурси. Ефективність заходів цивільного захисту залежить від адекватності ресурсного забезпечення функцій цивільного захисту існуючим загрозам різного характеру на території країни. В якості показників об'ємів завдань в плані забезпечення цивільного захисту населення та території доцільно використовувати ймовірності знаходження сил цивільного захисту регіону у стані ліквідації різної кількості надзвичайних ситуацій (НС). Для підвищення ефективності використання сил, при нарощуванні останніх за рахунок суміжних регіонів, також необхідно спиратись на ймовірності знаходження сил цивільного захисту регіонів у відповідному стані процесу ліквідації НС. Відповідно розробка підходів щодо визначення ймовірності знаходження сил цивільного захисту регіону у стані ліквідації різної кількості надзвичайних ситуацій є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Групування регіонів України за показниками що характеризують територіальні особливості регіонів, інтенсивність реалізації загроз та масштабність їх наслідків розглядались в роботі [1]. Формалізація процесу реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах України присвячені роботи [2-3]. Питання пов'язані з розробкою підходів щодо визначення ймовірності знаходження сил цивільного захисту регіону у стані ліквідації різної кількості надзвичайних ситуацій не розглядались.

Постановка завдання та його вирішення. Якісний аналіз статистичних даних щодо реалізації загроз на території країни, вказує на суттєву різницю в інтенсивності виникнення надзвичайних подій різного характеру по регіонах, зумовлену особливостями відповідних територій, рівнем їхньої урбанізації, розвитком промисловості, природними характеристиками регіону тощо [4]. Для побудови оптимізаційних моделей розподілу сил та засобів цивільного захисту якісного аналізу недостатньо, отримані результати [2, 3] щодо визначення законів розподілу виникнення надзвичайних ситуацій на території адміністративних одиниць не дають можливість об'єктивно оцінити масштабність залучення сил та засобів цивільного захисту до ліквідації НС. Отже є необхідність формалізації знаходження сил ЦЗ в стані ліквідації НС, також для побудови

оптимальних планів нарощування сил та засобів ЦЗ, для ліквідації НС, необхідно мати розрахункові співвідношення змін ймовірностей знаходження сил на території в стані ліквідації певної кількості НС. Виникнення НС на території регіону можна розглядати як дискретний випадковий процес, з постійною інтенсивністю виникнення НС [2]. Враховуючи що випадкова величина «кількість НС, яка виникає на інтервалі часу» розподілена за законом Пуассона [2, 3], процес виникнення НС на території регіону можна розглядати як марковський ланцюг. Випадковий процес виникнення НС в цьому випадку характеризується послідовністю станів

$$s_0, s_1, s_2, \dots, s_n \quad (1)$$

де s_0 – стан, коли на території регіону сили та засоби цивільного захисту не залучені до ліквідації жодної НС; s_1, s_2, \dots, s_n – стан, коли на території регіону сили та засоби цивільного захисту залучені до ліквідації одної, двох та n НС відповідно.

В силу постійності інтенсивності переходів системи із стану в стан процес є однорідним [5]. Зображення, графа процесу виникнення та ліквідації НС на території регіону, для загального випадку, представлено на рис.1.

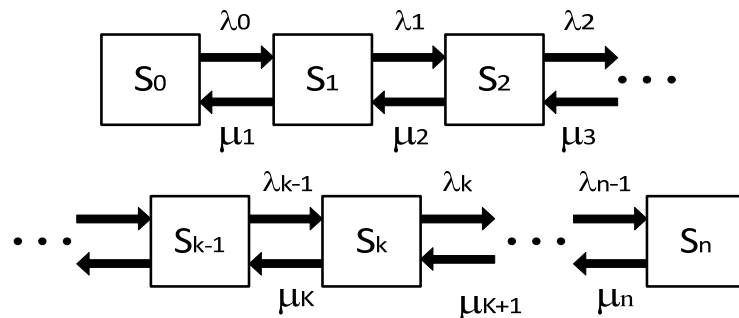


Рис. 1 – Граф станів процесу виникнення надзвичайних ситуацій на території регіону. На рисунку прийняті наступні позначення: λ_i - інтенсивність переходів системи від стану i до стану $i+1$; μ_i - інтенсивність переходів системи від стану i до стану $i-1$

Для випадку коли система має кінцеву кількість станів s_i знаходження ймовірності $p_i(t)$ перебування системи у i -ому стані здійснюється за допомогою рівнянь Колмогорова

$$\begin{aligned}
 p_0(t) = & \frac{2\mu^2}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\sin(\mu t)(2b\mu^2 + \\
 & + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t} + \\
 & + \frac{\cos(\mu t)(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2)}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} e^{-(\mu+\lambda)t}
 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 p_1(t) = & \frac{1}{\mu} \left(\frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (-(\mu + \lambda) \sin(\mu t)(2b\mu^2 + \right. \\
 & + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t} + \\
 & + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\cos(\mu t)\mu(2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - 2\lambda\mu + \\
 & + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t} + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} ((-\mu + \\
 & + \lambda) \cos(\mu t)(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t} - \\
 & - \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\sin(\mu t)\mu(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t} + \\
 & + \lambda \left(\frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\sin(\mu t)(2b\mu^2 + 2b\lambda\mu + b\lambda^2 - \right. \\
 & - 2\lambda\mu + + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2 + 2a\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t} + \\
 & + \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (\cos(\mu t)(2a\mu^2 + 2a\lambda\mu + a\lambda^2 - 2\mu^2)e^{-(\mu+\lambda)t} + \\
 & \left. \left. + \frac{2\mu^2}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} \right) \right)
 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 p_2(t) = 1 - p_0(t) - p_1(t) = & \frac{1}{2\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2} (((2 - 2a - 2b)\mu^2 \\
 & - 2\lambda(a + b - 1)\mu - \lambda^2(a + b)) \cos(\mu t) + 2((a - 1) - \mu^2 + a\lambda\mu + \\
 & + 0.5a\lambda^2) \sin(\mu t) e^{-(\mu+\lambda)t} + \lambda^2
 \end{aligned} \quad (7)$$

де a, b , – початкові умови $p_0(0), p_1(0)$ відповідно.

З рівнянь (5)-(7) слідує що постійна часу перехідного процесу дорівнює $\tau = 1 / (\lambda + \mu)$ діб. На рис.2-4 представлено результати розрахунку зміни ймовірностей стану системи виникнення та ліквідації НС для Київської області з парамет-

рами $\lambda = 0.031$, $\mu = 0.278$, при початкових умовах $p_0(0)=1$, $p_1(0)=0$, $p_2(0)=0$.

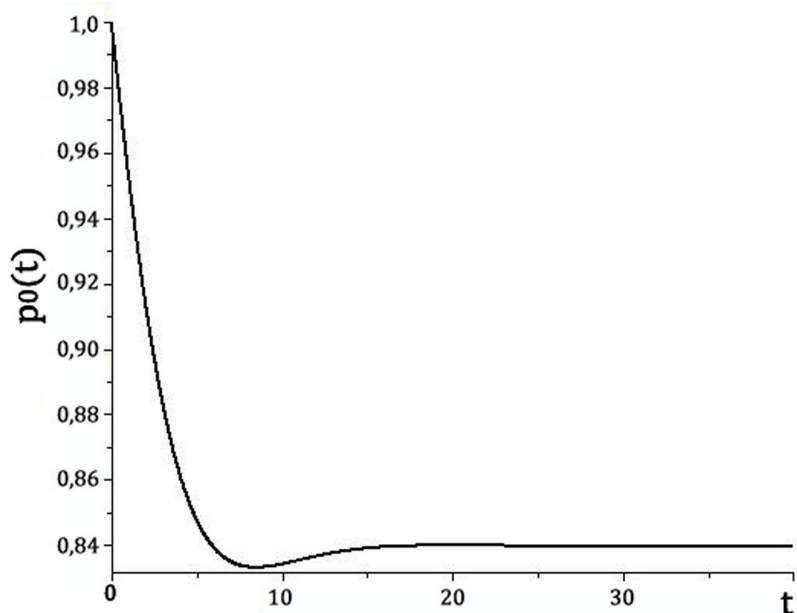


Рис. 2 – Зміна ймовірності стану, коли сили цивільного захисту території не залучені до ліквідації НС

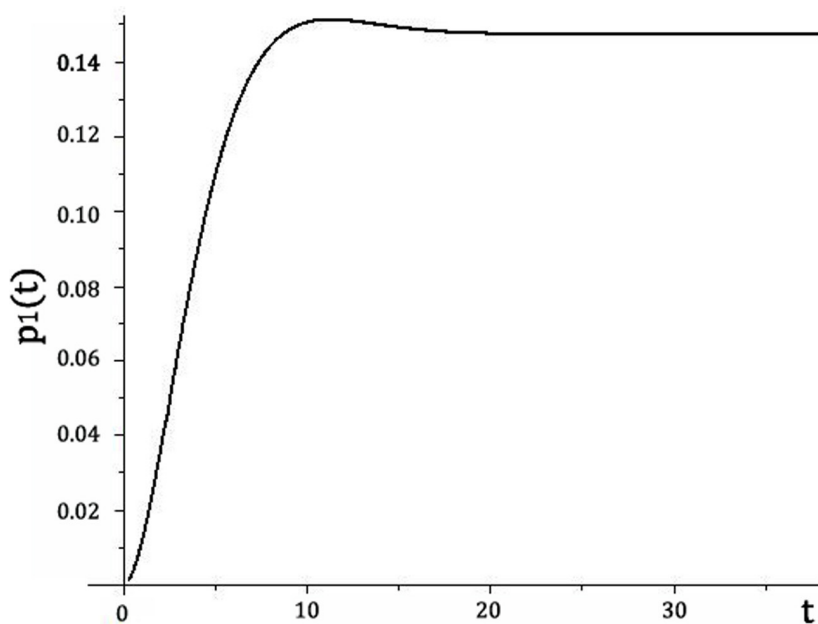


Рис. 3 – Зміна ймовірності стану, коли сили цивільного захисту території залучені до ліквідації однієї НС

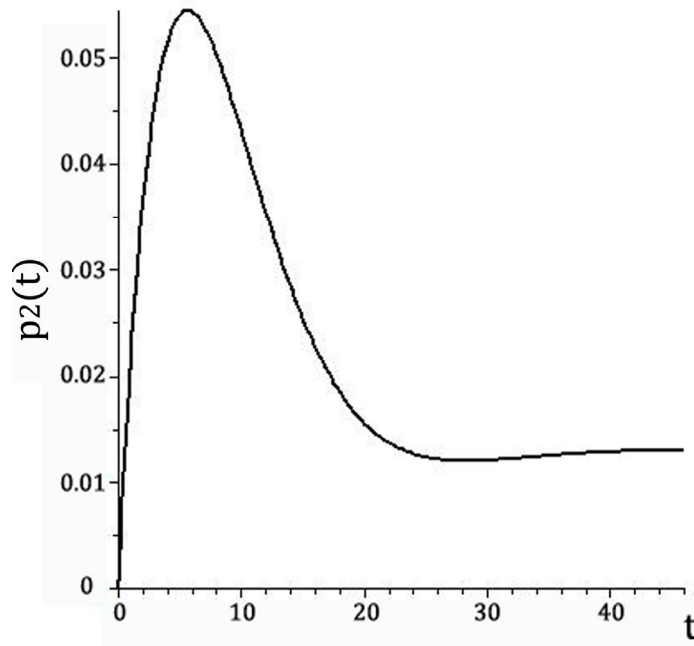


Рис. 4 – Зміна ймовірності стану, коли сили цивільного захисту території залучені до ліквідації двох НС

Для Київської області постійна часу перехідного процесу становить 77,7 годин. Тривалість перехідного процесу та відносно повільна швидкість зміни ймовірностей обумовлює необхідність враховувати це при прийнятті рішень щодо управління силами та засобами цивільного захисту при ліквідації НС.

Висновки. Отримані рівняння перехідного процесу зміни ймовірностей можливого стану знаходження сил та засобів цивільного в процесі ліквідації НС дозволяють здійснювати оптимізацію залучення сил та засобів цивільного захисту з більш високим рівнем адекватності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інтегральна система безпеки регіонів України, як складова державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки / Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін, В.В. Тютюник [та ін.] // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: УЦЗУ, 2008. – Вип. 7. – С. 58 – 71.
2. Формалізація реалізації загроз природного та техногенного характеру в регіонах з високим рівнем техногенного

- навантаженням/ А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 17. – С. 138 – 145.
3. Рогозін А.С. Аналіз реалізації загроз природного та техногенного характеру на території Донецької області/ А.С. Рогозін //Зб. наукових праць ХУПС. Випуск2(35). - 2013. - С. 206-208.
 4. Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру/ А.С. Рогозін, В.С. Хоменко, Ю.М. Райз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2012. – Вип. 16. – С. 95 – 106.
 5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей/ Е.С. Вентцель. М.: Наука, 1962. 564 с.

Рогозін А.С., Левченко Р.Т.

Анализ переходного процесса изменения вероятностей нахождения сил гражданской защиты в состоянии ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

Определен характер переходного процесса изменения вероятностей состояний привлечения сил гражданской защиты к ликвидации чрезвычайных ситуаций, рассматривая привлечение сил, как однородной марковский процесс

Ключевые слова: привлечение, силы гражданской защиты, ликвидация, изменение вероятности, чрезвычайная ситуация

Rogozin A.S., Levchenko R.T.

Analysis of transient changes in the probability of finding the forces of civil protection in the state emergency response

The character of the transition process changes state probabilities involvement of civil protection forces to emergency situations, considering the involvement of forces as a homogeneous Markov process

Key words: attraction, civil defense forces, liquidation, change in probability, disaster management

*Рыбка Е.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НУГЗУ,
Гвоздь В.М., канд. техн. наук, нач. УГСЧСУ в Черкас. обл.*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

(представлено д-ром техн. наук Тарасенко А.А.)

Получена модель механических свойств защитных покрытий строительных конструкций промышленных объектов предотвращающих развитию чрезвычайных ситуаций

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, обрушение, защитное покрытие, эксперимент, модель, поверхность отклика

Постановка проблемы. Одной из причин возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера на промышленных объектах являются пожары, которые сопровождаются обрушением строительных конструкций. Эффективным направлением обеспечения требуемого периода времени от момента начала огневого воздействия до обрушения строительных конструкций является использование защитных покрытий, которое сопряжено с проблемой отсутствия сведений об их механических свойствах в условиях реальных пожаров на промышленных объектах.

Анализ последних исследований и публикаций. Определение защитных свойств покрытий предусмотрено [1, 2] на фрагментах и образцах строительных конструкций в условиях стандартного огневого воздействия [1]. В реальных условиях, в большинстве случаев, интенсивность нагревания строительных конструкций при пожарах на промышленных объектах гораздо ниже нормативной [3], для которой механические свойства защитных покрытий не исследовались.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является получение математической модели механических свойств защитных покрытий строительных конструкций для условий теплового воздействия характерных пожарам на промышленных объектах, на примере покрытия Эндотерм 40202.

Для этого в работе использовался полный факторный эксперимент. При этом механические свойства покрытий описываются функцией отклика

$$y = f(h, V), \quad (1)$$

где y – механическая прочность защитного покрытия, г/см²; h – толщина защитного покрытия, мм; V – интенсивность нагрева, °С/мин.

Предполагается, что кривая отклика от вышеуказанных факторов будет иметь некоторую кривизну, поэтому для построения математической модели применяли ортогональный центральный композиционный план второго порядка [4], который позволяет установить аналитическую зависимость в виде полиномиального уравнения второй степени

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (2)$$

где x_i, x_j – независимые переменные (факторы); b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты регрессии.

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента по изучению зависимости механических свойств защитного покрытия от его исходной толщины (x_1) и интенсивности нагрева (x_2)

№ опыта	Кодированные значения входных переменных				
	1	2	3	4	5
	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	$x_1 x_2$
1	-1	-1	1	1	1
2	-1	0	1	0	0
3	-1	1	1	1	-1
4	0	-1	0	1	0
5	0	0	0	0	0
6	0	1	0	1	0
7	1	-1	1	1	-1
8	1	0	1	0	0
9	1	1	1	1	1

Была составлена план-матрица эксперимента посредством чередования уровней фактора x_2 в каждом опыте, а x_1 – через три опыта (табл. 1).

Было подготовлено 9 образцов, при этом толщина защитного покрытия изменялась в пределах 1÷3 мм с шагом 1 мм, а интенсивность нагревания – 10÷40 °С/мин. с шагом 15 °С/мин. Эксперимент реализовывался с помощью разработанного термического комплекса [5], который позволяет воспроизводить произвольны законы изменения температуры с повышенной точностью.

Определение количественной характеристики механической прочности защитного слоя производилось согласно модифицированному методу пенетрации с использованием консистометра Хеплера. Измерения проводились в трех точках на поверхности вспученного слоя, после чего фиксировали минимальную силу, необходимую для разрушения. Механическая прочность определялась следующим образом

$$F = \frac{m}{S}, \quad (3)$$

где m – масса приложенная к индентору, г; S – площадь индентора, см².

Результаты эксперимента по исследованию механической прочности защитного покрытия представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента по изучению зависимости механической прочности защитного покрытия от его толщины и интенсивности нагрева

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Механическая прочность, F , г/см ²	0	0	0,5	0,5	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3

Коэффициенты регрессии рассчитывались по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} y_u}{x_{iu}^2}, \quad (4)$$

где u – номер столбца в матрице планирования; x_{iu} – элементы i -того столбца.

Статистический анализ показал, что полученное уравнение регрессии является адекватным экспериментальным данным по критерию Фишера. С учетом исключенных незначимых коэффициентов в соответствии с критерием Стьюдента, модель механической прочности защитного покрытия принимает вид

$$y = 0,411 - 0,217 x_1^2 - 0,1 x_1 x_2. \quad (5)$$

С помощью программы «Maple» для уравнения (5) построена поверхность отклика (рис. 1), которая позволяет зрительно воспринимать соответствующий геометрический образ.

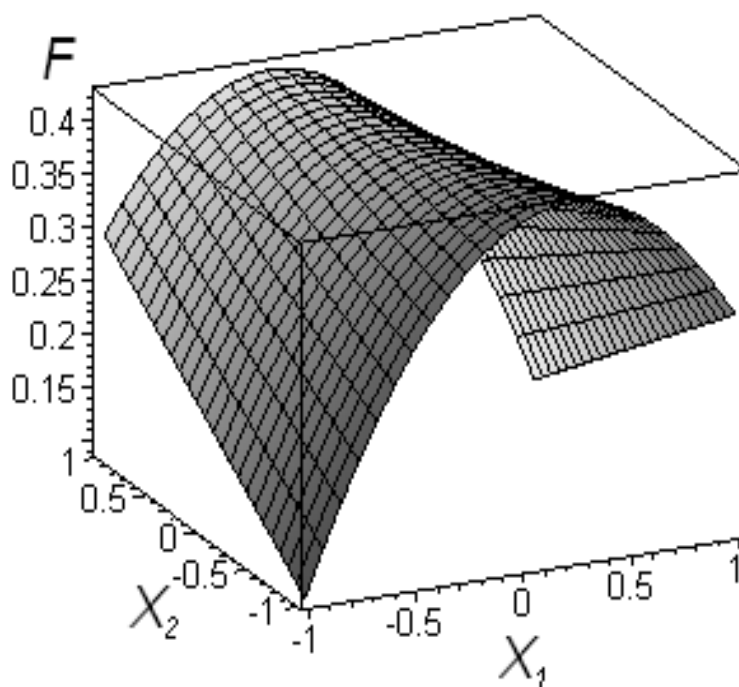


Рис. 1 – Поверхность отклика зависимости механической прочности защитного слоя покрытия Эндотерм 400202 от его начальной толщины (x_1) и интенсивности нагрева (x_2)

Трехмерная модель (рис. 1) указывает на то, что наибольшее значение механической прочности достигается при толщине защитного покрытия в 2 мм и практически не изменяется при скоростях нагрева от 25 до 35°С/мин.

Выводы. Получена математическая модель, которая позволяет прогнозировать механические свойства защитного по-

Рыбка Е.А., Гвоздь В.М.

крытия Эндотерм 40202 с учетом возможного теплового воздействия, что предотвращает развитию чрезвычайных ситуаций техногенного характера на промышленных объектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги: ДСТУ Б.В. 1.1-4-98. – [Чинний від 1999-03-01]. – К. – Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1998. – 20 с. – (Національний стандарт України).
2. Яковлев А.И. Огнестойкость одноэтажных производственных зданий в зависимости от пожарной нагрузки / А.И. Яковлев, Т.Е. Стороженко // Промышленное строительство. – 1979. - № 9. – С. 37-39.
3. Башкирцев М.П. Исследование температурного режима при пожарах в зданиях на моделях / М.П. Башкирцев // Труды Высшей школы МВД. – М: НИРЧО, 1966. – № 13. – С. 51-58.
4. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев: Технпса, 1975. – 168 с.
5. Абрамов Ю.А. Термический комплекс для испытаний образцов строительных конструкций / Ю.А. Абрамов, Е.А. Рыбка, В.М. Гвоздь. – Харьков: НУГЗУ, 2013. – 128 с.

Рибка Є.О., Гвоздь В.М.

Запобігання надзвичайних ситуацій техногенного характеру, пов'язаних з пожежами на промислових об'єктах

Отримана модель механічних властивостей захисних покриттів будівельних конструкцій промислових об'єктів запобігають розвитку надзвичайних ситуацій

Ключові слова: надзвичайна ситуація, обвалення, захисне покриття, експеримент, модель, поверхня відгуку

Rybka E., Gvozd' V.

Prevention of technogenic emergency situations involving fires at industrial sites

The obtained model of the mechanical properties of protective coatings of building of constructions of industrial objects preventing the development of emergency situations

Key words: emergency situation, caving, protective coating, experiment, model, response surface

Сенчихин Ю.Н., канд. техн. наук, проф., НУГЗУ

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА РАБОТЫ СПАСАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕТАНИЯ СНАРЯДА С ТРОСОМ НА ВЫСОТЫ ЗДАНИЙ В ОБЩЕЙ ПОСТАНОВКЕ

(представлено д-ром техн. наук Бодянским Э.В.)

Построение математической модели пневмометания снаряда с тросом с использованием методов и алгоритмов численного и функционального анализа основанных на использовании уравнений динамики полета, составленных со строго ограниченным набором основополагающих гипотез

Ключевые слова: задачи анализ, пожарно-спасательные работы, выстрел, пневмометание, снаряд с тросом, спасательный конец

Постановка проблемы. Для решения задачи анализа работы устройства для выполнения пожарно-спасательных работ (далее - устройство, установка) [1], которая возникла еще на стадии проектирования, безусловно, необходимо иметь математические модели, описывающие процесс метания снаряда с тросом (в дальнейшем - выстрела, пневмометания).

В предложенной конструкции выстреливание снаряда основано на импульсном воздействии на снаряд (к которому прикреплен трос) сжатого воздуха. При этом под тросом будем понимать гибкую тонкую нерастяжимую нить, предварительно уложенную специальным способом так, что она при движении снаряда свободно разматывается. Другими словами, потери энергии за счет разматывания троса отсутствуют.

Анализ последних исследований и публикаций. Для решения формулируемой задачи анализа, в точной, насколько это возможно, постановке, следовало бы использовать системы уравнений газовой динамики [2], внутренней и внешней баллистики [3] с учетом особенностей взаимодействия между снарядом и окружающей средой. Составление и решение такого рода систем уравнений отвечает желанию получить приемлемые результаты, однако при этом возникают, как правило, практически непреодолимые трудности в использовании методов вычислений. Вследствие чего подобная

формулировка задачи математической физики требует отдельного рассмотрения, имеющего самостоятельное теоретическое значение.

Ввиду ограниченного (в открытой печати) числа работ, посвященных анализу пневмометания снаряда с тросом, и фактически полного их отсутствия относительно тактики проведения пожарно-спасательных работ в зданиях повышенной этажности (ЗПЭ) с применением устройств для доставки спасательного конца, для специфических исследований подобных систем предлагается использовать известные математические модели, методы и алгоритмы численного и функционального анализа основанные на использовании уравнений динамики полета, составленных со строго ограниченным набором основополагающих гипотез [2, 4, 5, 6] - наиболее сложные с математической точки зрения, однако теоретически наиболее точно отражающие происходящий процесс.

Постановка задачи и ее решение. Итак, следуя выбранной группе методов [2, 4, 5, 6], попытаемся построить математическую модель выстрела, по возможности, в наиболее точной постановке.

Рассмотрим процесс выстреливания и движения снаряда с тросом, который является результатом пневмометания из установки метательного типа (рис. 1). Все уравнения запишем в декартовой системе координат. Ее начало совпадает с точкой, в которой находится установка.

Задача анализа исследуемого процесса сводится к следующему. Требуется, на основе заданных начальных условий и составленных систем уравнений, адекватно описывающих выстрел, определить положение снаряда в каждый момент времени до его падения на землю. Кроме этого, немаловажно, с точки зрения задач тактики (как это будет показано в дальнейшем) установить формы семейства кривых, которые соответствуют положениям троса в каждый из моментов времени.

К основным геометрическим параметрам задачи анализа (рис. 1) отнесем максимальную высоту подъема снаряда H_{\max} , расстояние между установкой и точкой падения L_{\max} и время нахождения снаряда в воздухе t . Они могут быть определены, если задача (по крайней мере в первом приближении) имеет решение.

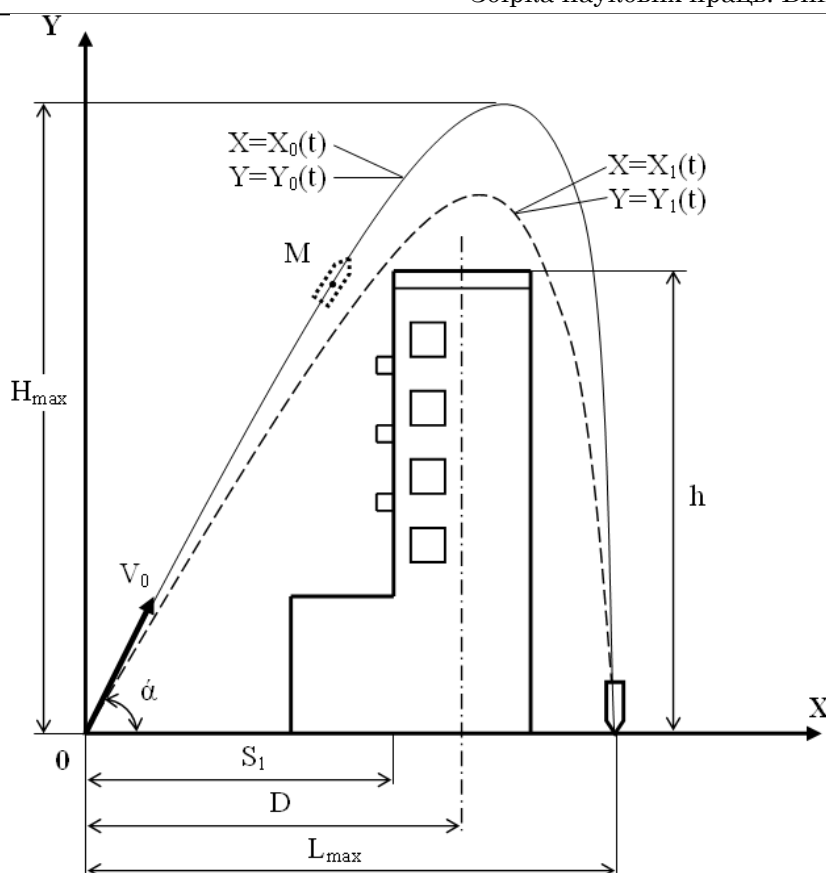


Рис. 1 – Процесс движения снаряда с тросом, метаемого с помощью пневмовыстрела

Разгон до начальной скорости снаряда V_0 (начальное условие) происходит с ускорением a внутри установки. Причем расстояние, пролетая которое снаряд приобретает указанную начальную скорость V_0 , много меньше геометрических характеристик задачи. Поэтому будем считать, что снаряд в начальный момент времени уже имеет скорость V_0 . Более подробно процесс разгона снаряда и его особенности рассмотрены в работе [7].

Пусть траектория снаряда, которую еще предстоит определить, описывается некоторой параметрической кривой вида

$$Y=Y_0(t), X=X_0(t). \quad (1)$$

Аналогично, предположим, что семейство форм, которые приобретает трос в каждый момент времени, найдено в результате решения задачи анализа и описывается также параметрически

$$Y=Y_1(t), X=X_1(t). \quad (2)$$

Подчеркнем еще раз то обстоятельство, что, по нашему мнению, (1) и (2) ни в какие моменты времени не совпадают друг с другом.

С целью отобразить наиболее существенные особенности математической модели в указанной формулировке, запишем основные уравнения без учета физики влияния аэродинамических сил [7].

Как одно из основополагающих допущений, будем считать, что движение системы происходит в одной плоскости - xOy .

Оставаясь в рамках используемой группы методов, можно воспользоваться законами ньютоновской механики.

На рис. 2 изображена общая система сил, действующих на отдельные элементы взаимосвязанных снаряда и частей троса.

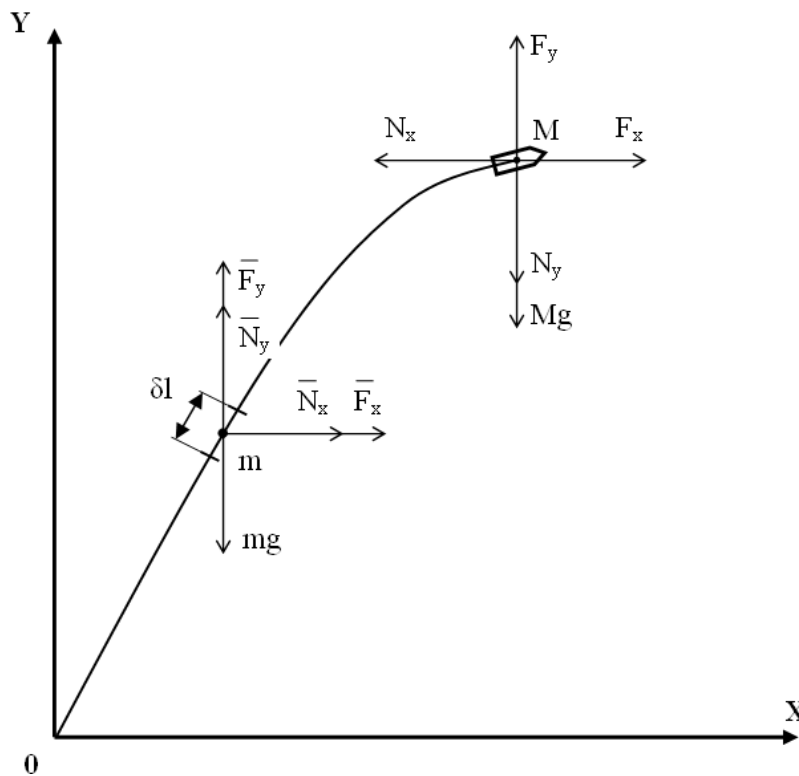


Рис. 2 – Общая система сил действующих на отдельные элементы взаимосвязанных снаряда и частей троса

Уравнения импульсов для точечной массы - снаряда

$$\begin{aligned} M dV_x / dt &= G_x + F_x; \\ M dV_y / dt &= G_y + F_y + Mg, \end{aligned} \quad (3)$$

где M - масса снаряда, V_x, V_y - компоненты его скорости, g - ускорение свободного падения.

Аналогично, уравнения импульсов для элемента троса

$$\begin{aligned} \delta M dV_x / dt &= \delta G_x + N_x + F_x; \\ \delta M dV_y / dt &= \delta G_y + N_y + F_y + \delta M. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь F_x, F_y - обобщенные компоненты аэродинамических сил, действующие соответственно на единицу длины троса и на сам снаряд. G_x, G_y - компоненты сил, действующие на снаряд со стороны троса. N_x, N_y - силы, действующие на элемент троса со стороны «соседних» элементов.

Начальные условия для рассматриваемой задачи при $t = 0$ имеют вид

$$X_0(0)=0, Y_0(0)=0, V_x(0)=V_{x0}, V_y(0)=V_{y0}. \quad (5)$$

Чтобы «замкнуть» систему уравнений (3), (4) при начальных условиях (5) необходимы дополнительные связующие интегро-дифференциальные соотношения, характеризующие внешнюю баллистику пневмометания.

Вывод. Как видно из уже изложенного, даже на начальной стадии формулировки задачи возникли непреодолимые трудности детализации динамики взаимодействия элементов системы. Не удалось записать интегро-дифференциальных соотношений связи между (3) и (4).

Вместе с тем, здесь все же введены основные геометрические параметры задачи анализа, высказано новое утверждение о несовпадении (1) и (2). Кроме того, этот теоретизированный подход указывает на необходимость определения, как другой основополагающей гипотезы, допущения о виде траектории снаряда, или же о виде семейства кривых, которые приобретает форма «провисания» троса при движении снаряда.

Только в этом случае можно в обозримом виде получить приближенные решения задачи анализа движения снаряда с тросом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2079311 Российская Федерация, МКИ 6 А 62 В 1/02. Устройство для выполнения пожарно-спасательных работ / Сенчихин Ю.Н., Пустовой А.С.; заявитель и патентообладатель Харьковский инж. строит. ин-т. - № 93053702; заявл. 26.11.93; опубл. 20.05.97, Бюл. №14.
2. Ландау Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, И.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – 356 с.
3. Аппазов Р.Ф. Баллистика управления ракет дальнего действия / Р. Аппазов, Ф. Лавров, В. Мишин. – М.: Наука, 1996. – 377 с.
4. Зельдович Я.Б. Элементы прикладной математики / Я.Б. Зельдович, А.Д. Мышкис. – М.: Наука, 1972. – 167 с.
5. Смирнов М.М. Задачи по уравнениям математической физики / Смирнов М.М. – М.: Наука, 1968. – 178 с.
6. Владимиров В.С. Уравнения математической физики / Владимиров В.С. – М.: Наука, 1971. – 511 с.
7. Демин А.П. Пневматическое метательное устройство / А.П. Демин, Б.И. Воронин // Пожарная техника и тушение пожаров: сб. научн. трудов. – М.: ВНИИПО, 1982. – С. 121-123.

Сенчихин Ю.М.

Формалізація задачі аналізу роботи рятувального пристрою для метання снаряда з тросом на висоти будівель в загальній постановці

Побудова математичної моделі пневмометання снаряда з тросом з використанням методів і алгоритмів чисельного і функціонального аналізу ґрунтованих на використанні рівнянь динаміки польоту складених із строго обмеженим набором гіпотез на засадних положеннях

Ключові слова: задачі аналізу, пожежно-рятувальні роботи, постріл, пневмометання, снаряд із тросом, рятувальний кінець

Senchukhin Y.N.

Formalization of task of analysis of work of rescue device for throwing of projectile with a rope on the heights of building in the general raising

Construction of mathematical model of throwing of projectile with a rope with the use of methods and algorithms of numerical and functional analysis of the equations of dynamics of flight of the fundamental hypotheses made with a strictly limit set based on the use

Key words: problems of analysis, fire-rescue works, shot, throwing, projectile with a rope, rescue end

*Собина В.А., канд. техн. наук, преп., НУГЗУ,
Соболь А.Н., д-р техн. наук, нач. каф., НУГЗУ,
Тригуб В.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ,
Олениченко Ю.А., ад'юнкт, НУГЗУ*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВИЗОРНОГО МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ НА ПОЛИГОНАХ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В работе рассмотрена математическая модель тепловизионного мониторинга пожаров на полигонах твёрдых бытовых отходов на ранней стадии их возникновения. Приведена общая постановка задачи оптимального размещения средств мониторинга.

Ключевые слова: математическая модель, тепловизор, инфракрасное излучение

Постановка проблемы. В настоящее время существует проблема, связанная с недостаточностью мер, направленных на раннее обнаружение и своевременное тушение ландшафтных пожаров и пожаров на полигонах твёрдых бытовых отходов (ТБО), что приводит к их распространению на огромные площади, экологическим катастрофам и колоссальным материальным потерям. Современные исследования в этой области свидетельствуют о том, что угрозы пожаров на полигонах (ТБО) в ближайшем будущем будут только возрастать, в том числе и в связи с климатическими изменениями.

Становится очевидным, что активный мониторинг территории полигонов ТБО, раннее обнаружение очагов возгорания и оперативное информирование соответствующих служб являются актуальными задачами предупреждения пожаров на данных объектах. Таким образом, существует острая необходимость в создании качественно новой и эффективной технологии обнаружения очагов пожаров на полигонах ТБО на ранних стадиях возгорания.

Анализ последних исследований и публикаций. Существующие подходы к мониторингу ландшафтных пожаров и пожаров на полигонах ТБО имеют следующие недостатки:

1. При визуальном обнаружении пожара наблюдатель с помощью азимутального круга определяет направление на пожар и сообщает это направление в центр контроля с помощью средств связи. Из центра контроля производится определение, с какой еще вышки может быть обнаружен этот пожар, и производится связь с другим наблюдателем, который также обнаруживает пожар и определяет направление на него. После чего в центре контроля, используя известные направления с вышек на пожар, с помощью карты определяют местонахождение предполагаемого пожара и предпринимают меры для его ликвидации [1]. Недостатки данного способа очевидны – необходимость постоянного использования человеческих ресурсов в каждой точке расположения вышки и отсутствие возможности автоматизации процессов обнаружения и оповещения.

2. При авиационном мониторинге пилот на летательном аппарате (самолет, вертолет), оснащенный сканирующим тепловизором микроволнового диапазона и инфракрасными датчиками, с определенной периодичностью совершает облет полигонов. При обнаружении пожара производится определение его координат с их последующей передачей в центр контроля [2].

Недостатки способа определяются высокой стоимостью летного часа и невозможностью ведения постоянного мониторинга больших территорий, что может послужить причиной позднего обнаружения пожара. Также стоит отметить сильную зависимость чувствительности регистрирующей аппаратуры от широты обзора.

Использование беспилотных летательных аппаратов может несколько снизить стоимость летного часа, однако не избавляет от риска несвоевременного обнаружения пожара. Кроме того, стоимость беспилотного летательного аппарата достаточно высока.

3. При спутниковом мониторинге специализированные спутники, находящиеся на негеостационарных орбитах, производят снимки земной поверхности в инфракрасном диапазоне при помощи так называемых радиометров с последующей передачей их на наземную станцию для детального анализа [3]. На основе разности температуры поверхности земли и температуры очага возгорания возможно определить его

приблизительное местоположение. Можно выделить следующие недостатки данного подхода. Во-первых, требуемая для достоверного обнаружения площадь возгорания, как правило, составляет не менее 1 гектара, что делает обнаружение пожара на ранней стадии не просто затруднительным, а практически невозможным. Во-вторых, сильное влияние метеоусловий – облачность и сильный ветер могут привести к задержкам или даже невозможности обнаружения пожара, что помимо повышения угрозы от пожара увеличивает стоимость его ликвидации. Кроме того, недостаточна оперативность самого процесса мониторинга и передачи данных (до 4 раз в сутки). Не стоит забывать и о дороговизне ввода спутника в эксплуатацию, которая ставит под сомнение целесообразность спутникового мониторинга.

4. В работе [4] предложено использование для мониторинга полигонов ТБО термоподвесок. Вместе с тем, при возникновении очага возгорания и несвоевременном реагировании соответствующих подразделений, при тушении пожара, термоподвеска может быть выведена из строя, что в дальнейшем может сказаться на достоверности построения тепловых полей.

Таким образом, существует необходимость в разработке такого подхода к мониторингу ландшафтных пожаров и пожаров на полигонах ТБО, который исключил бы вышеперечисленные недостатки. Одним из таких подходов является использование тепловизионного мониторинга [5-7]. Тактико-технические характеристики тепловизоров приведены, например, в [8-10].

Постановка задачи и её решение. Целью данной работы является разработка математической модели оптимального размещения тепловизоров для мониторинга пожаров на полигонах ТБО.

Рассмотрим постановку данной задачи. Представим полигон ТБО в виде геометрического объекта, горизонтальная проекция которого представляет собой, в общем случае, многоугольник S_0 . Для мониторинга пожаров на полигоне S_0 будем использовать тепловизоры S_i , $i = 1, \dots, N$, которые обладают следующими характеристиками:

– размер чувствительного детектора (матрицы) $p_{i,x}$, $p_{i,y}$, в пикселях;

– параметры объектива FOV (field of view) $\gamma_{i,x}$, $\gamma_{i,y}$, в градусах. Данные параметры называются полем зрения тепловизора. Встречаются и другие определения этого параметра, такие как угол обзора, угол зрения, угол визирования, угловое пространство. Это параметр объектива тепловизора, описывающий размеры пространства при снимке объекта.

Следует отметить, что область обзора тепловизора имеет вид прямоугольника S'_i , $i \in \{1, \dots, N\}$ [11], горизонтальная проекция которого S''_i определяется параметрами $a_i(p_{i,x}; \gamma_{i,x}; D_i)$ и $b_i(p_{i,y}; \gamma_{i,y}; D_i)$, где D_i - расстояние от тепловизора до контролируемого объекта. Также необходимо рассмотреть такой параметр, как минимальное расстояние ρ_{\min} от полигона ТБО до вышек с тепловизорами.

Для определения параметров очага пожара необходимо, чтобы тепловизоры размещались вдоль ортогональных координатных осей, которые, в свою очередь, будут параллельны сторонам габаритного прямоугольника для S_0 .

Необходимо определить минимальное количество тепловизоров (в том числе вдоль каждой оси), горизонтальные проекции областей обзора которых S''_i будут полностью покрывать горизонтальную проекцию S_0 , и при этом параметр контролируемого объекта (очага пожара) не превышал заданного.

Математическую модель оптимального размещения тепловизоров для мониторинга пожаров на полигонах ТБО запишем в следующем виде

$$\min_{u \in W} N(u_i, a_i, b_i); u_i = \{x_i; y_i\}; i = 1, \dots, N; N = N_x + N_y; \quad (1)$$

где W

$$\omega \left(p_{N_x}, \{x_{0,1}; y_{0,1}; \dots; x_{0,n}; y_{0,n}\}, \{0; 0\}, \{x_0; y_0\} \right) = S_0; \quad (2)$$

$$\omega \left(\{a_j; b_j\}, \{a_k; b_k\}, \{x_j; y_j\}, \{x_k; y_k\} \right) \rightarrow \min; \quad (3)$$

$$j = 1, \dots, N_x; k = j + 1, \dots, N_x;$$

$$\omega \left(\left(\bigcup_{l=1}^{N_y} S_l \right), \{x_{0,1}; y_{0,1}; \dots; x_{0,n}; y_{0,n}\}, \{0; 0\}, \{x_0; y_0\} \right) = S_0; \quad (4)$$

$$\omega(\{a_l; b_l\}, \{a_m; b_m\}, \{x_l; y_l\}, \{x_m; y_m\}) \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$l = 1, \dots, N_y; m = l + 1, \dots, N_y;$$

$$\left(\bigcup_{j=1}^{N_x} S_j \right) \cup \left(\bigcup_{l=1}^{N_y} S_l \right) = \bigcup_{i=1}^N S_i;$$

$$\rho(S_i, S_0) \geq \rho_{\min}; \delta(S_i) \leq \delta_{\max}; i = 1, \dots, N. \quad (6)$$

В модели (1)÷(6) выражение (1) представляет собой функцию цели задачи, причем $u_i = \{x_i; y_i\}$; $i = 1, \dots, N$ – параметры размещения вышек с тепловизорами; N_x и N_y – количество тепловизоров, размещаемых вдоль соответствующих координатных осей. Выражение (2) представляет собой условие полного покрытия области S_0 горизонтальными проекциями s_j областей обзора тепловизоров, расположенных вдоль соответствующей координатной оси; (3) – условие минимизации области пересечения между проекциями s_j и s_k . Здесь $\omega(\cdot)$ – ω -функция покрытия [12]. Условия (4) и (5) аналогичны, соответственно, выражениям (2) и (3), при этом записаны для тепловизоров, размещаемых вдоль другой координатной оси. Выражения (6) представляют собой, соответственно, условие размещения вышек с тепловизорами не ближе ρ_{\min} от полигона ТБО, где $\rho(\cdot)$ – расстояние в евклидовой метрике, а также условие, связанное с параметром (размером) контролируемого объекта, причем δ_{\max} – заданное значение параметра.

Следует отметить, что при тепловизорном мониторинге полигонов ТБО вместо людей на вышках используется надёжная статическая камера ночного видения, оснащённая тепловизором с микроболометром и цветной камерой высокого разрешения. Каждая вышка оснащается устройством связи с ситуационным центром, где оператор может наблюдать сразу за несколькими камерами. При обнаружении пожара оператор

также имеет возможность получить подтверждение с другой ближайшей камеры. Возможность получения текущих азимутальных координат положения поворотных устройств позволяет при помощи простых расчетов с достаточной точностью определять координаты очага возгорания.

К преимуществам данного подхода можно отнести все преимущества визуального мониторинга, а также минимизацию человеческих ресурсов, задействованных в процессе мониторинга. Также очень важным достоинством является определение параметров очага возгорания на достаточно ранних стадиях.

Выводы. В данной работе разработана математическая модель определения оптимального количества и мест размещения средств мониторинга полигонов твердых бытовых отходов. Дальнейшие исследования будут направлены на исследование особенностей данной математической модели и разработку метода определения минимального количества и мест размещения тепловизоров для мониторинга полигонов ТБО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Ю.А. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами / Ю.А. Андреев, А.В. Брюханов. – Красноярск, 2011. – 272с.
2. Воробьев С.Ю. Методы и средства дистанционного мониторинга лесных пожаров/ С.Ю. Воробьев, Л.В. Катковский // Научный журнал "Доклады БГУИР" №2 том 49, 2009. – С. 21-33.
3. Копылов В.Н. Космический мониторинг окружающей среды/ В.Н. Копылов. Монография. – Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008. – 216 с.
4. Олениченко Ю.А. Подход к оптимизации размещения средств мониторинга тепловых полей полигонов твердых бытовых отходов / Ю.А. Олениченко, А.Н. Соболев, А.Г. Коссе // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 18. – С. 145-152.
5. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В.П. Вавилов. – М.: ИД Спектр, 2013. – 544 с.

6. Вавилов В.П. Тепловой контроль / В.П. Вавилов // 5 том справочника «Неразрушающий контроль» под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2006 – 688 с.
7. Будадин О.Н. Тепловой контроль / О.Н. Будадин, В.П. Вавилов, Е.В. Абрамова. – М.: ИД Спектр, 2013. – 176 с.
8. Криксунов Л.З. Тепловизоры/ Л. З. Криксунов, Г. А. Падалко. – К.: Техніка, 1987 – 166 с.
9. Вавилов В.П. Тепловизоры и их применение/ В.П. Вавилов, А.Г. Климов. – М.: Интел универсал, 2002 – 88 с.
10. Драгун В.Л. Тепловизионные системы в исследовании тепловых процессов/ В.Л. Драгун. – М.: Наука, 1967. – 256 с.
11. Программа для вычисления FOV – поля зрения тепловизоров: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.thermoview.ru/articles/fov/>.
12. Стоян Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев. – К.: Наук. думка, 1986. – 265 с.

Собина В.О., Соболев О.М., Тригуб В.В., Олениченко Ю.А.

Математична модель тепловізорного моніторингу пожеж на полігонах твердих побутових відходів

В роботі розглянуто задачу виявлення пожеж на полігонах твердих побутових відходів на початковій стадії їх виникнення. Наведено загальну постановку задачі та математичну модель оптимального розміщення засобів моніторингу.

Ключові слова: математична модель, тепловізор, інфрачервоне випромінювання

Sobina V.A., Sobol A.N., Trigub V.V., Olenychenko Yu.A.

Mathematical model of imager monitoring fires in refuse dumps

In this paper the problem of detecting fires in refuse dumps at early stage is considered. A general statement of the problem and mathematical model of optimum placement of monitoring tools are given.

Key words: mathematical model, imager, infrared radiation

*Стрелец В.М., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ,
Васильев М.В., нач. сектора, ГУ ГСЧСУ в Харьк. обл.,
Тригуб В.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

**РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СПАСАТЕЛЕЙ К РАБОТЕ
В КОМПЛЕКСЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТИПА**

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

Предложены нормативы, опирающиеся на расчет обратных функций нормального распределения, для оценки как робинга комплекса средств индивидуальной защиты первого типа и с фильтрующим противогазом, так и локализации очага чрезвычайной ситуации методом реконденсации. Показано, что параметры распределения могут быть получены как путем натурного, так и имитационного на ЭВМ эксперимента.

Ключевые слова: норматив, комплекс средств индивидуальной защиты, обратная функция распределения времени выполнения

Постановка проблемы. В подразделениях гражданской защиты отсутствуют нормативы (под ними понимается [1] сопоставительная норма, которая в своей основе имеет сравнение людей, принадлежащих к одной и той же совокупности) для оценки подготовленности спасателей к работе в комплексе средств индивидуальной защиты как первого типа (КСИЗ 1) так и совместно с фильтрующими противогазами (КСИЗ ФП), которые могут использоваться в процессе ликвидации аварий с выбросами опасных химических веществ. Это затрудняет объективную оценку уровня подготовленности спасателей.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что в практике оперативно-спасательных служб используется большое количество различных вариантов взаимодействия личного состава с техническими средствами (например, со специальным оборудованием или средствами индивидуальной защиты ...). Так, в пожарной охране [2] используется более пятидесяти вариантов боевого развертывания, если рассматривать только основные пожарные автомобили и не

детализировать количество рукавов в магистральных и рабочих линиях. При этом штатное оборудование, которое используется в ходе боевого развертывания, позволяет обеспечить подготовку боевых расчетов.

Поскольку приведенных в действующих документах, например, [3], нормативов недостаточно для оценки качества характерных для конкретного подразделения вариантов боевой работы, при разработке конкретных количественных показателей используют как подход [1], принятый в физической культуре (в его основе лежит выбор нормативной оценки для определенной заранее заданной доли количества испытуемых), так и его модификации. Так, в [4] показано, что при разработке нормативов для оценки отдельных операций или простых вариантов боевого развертывания (состоящих не более чем из 3-5 операций) целесообразно опираться на β -распределение), а в [2] – на нормальное для более сложных вариантов. При этом вопросы эффективности обучения с использованием нормативов и определения момента, после которого можно использовать нормативы, не рассматривался. В то же время, и в [5] в целом для систем «человек-машина-среда» (СЧМС), и в [6] – для выполнения комплексных тренировочных упражнений газодымозащитниками (прохождение полосы огневой психологической подготовки) отмечено, что время выполнения задания непосредственно зависит от количества тренировочных попыток. Эта задача была решена в [7], где на основе анализа раскрытых закономерностей деятельности спасателей в КСИЗ (в частности, экспоненциального характера изменения времени выполнения учебного задания от количества тренировочных попыток) была показана возможность определения количества тренировочных попыток, после которого можно начинать сравнивать результаты обучаемых с нормативным значением. Однако конкретные показатели для последних так и не были даны.

Постановка задачи и ее решение. Исходя из этого, поставлена задача разработки нормативов для оценки уровня подготовленности для выполнения робинга КСИЗ первого типа.

В рассматриваемом случае под нормативом понимается фактическая величина времени выполнения робинга КСИЗ, которая служит основанием для отнесения испытуемых к одной из классификационных групп и является показателем ка-

чества рассматриваемой СЧМС. Поскольку разработка нормативов имеет в своей основе сравнение результатов одних испытуемых с результатами других испытуемых, то сопоставительные нормы могут быть построены путем отнесения соответствующего процента рассматриваемого личного состава к нормативу, который ему посилен.

В [7] было показано, что распределение времени выполнения как отдельных операций, так и всего процесса в целом ликвидации чрезвычайной ситуации с выбросом опасного химического вещества описывается нормальным законом. Это позволяет [2], учитывая, что чаще всего в качестве критерия при установке норматива используют долю личного состава (боевых расчетов, звеньев и т.д.), которому доступна норма, искомые нормативные оценки времени боевой работы определять следующим образом

$$t_5 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1}(\hat{P}_5); \quad (1)$$

$$t_4 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1}(\hat{P}_4 + \hat{P}_5); \quad (2)$$

$$t_3 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1}(\hat{P}_3 + \hat{P}_4 + \hat{P}_5), \quad (3)$$

где $t_{5(4,3)}$ – значение времени боевого развертывания, при достижении которого норматив может быть оценен на «отлично» («хорошо», «удовлетворительно»); \bar{t} – математическое ожидание времени выполнения задания, с; G – стандартное отклонение времени выполнения задания, с; $\hat{P}_5 = P(t \leq t_5)$, $\hat{P}_4 = P(t_5 < t \leq t_4)$, $\hat{P}_3 = P(t_4 < t \leq t_3)$ – вероятность попадания случайной величины времени выполнения задания в заданный интервал (доля отличных, хороших и удовлетворительных оценок); $\Phi^{-1}(\hat{P}_5)$, $\Phi^{-1}(\hat{P}_4 + \hat{P}_5)$, $\Phi^{-1}(\hat{P}_3 + \hat{P}_4 + \hat{P}_5)$ – обратные функции соответствующих стандартных нормальных распределений.

Из вышеизложенного следует, что на начальном этапе разработки норматива необходимо однозначно определить как параметры распределения времени робинга КСИЗ, так и получить оценки вероятностей выполнения рассматриваемого норматива в заданное время. Выбранным вариантом послед-

него является расчет средневзвешенных оценок $(\widehat{P}_5, \widehat{P}_4, \widehat{P}_3, \widehat{P}_2)$ соответствующих долей (частот) всех возможных результатов [8]. Эти оценки соответствуют, как это принято в большинстве подразделений в настоящее время, «отличной», «хорошей», «удовлетворительной» или «неудовлетворительной» оценке.

Параметры распределений времени выполнения робинга КСИЗ получены как в процессе раскрытия закономерностей деятельности в ходе подконтрольной эксплуатации или полигонных испытаний [7], так и по результатам имитационного моделирования [8].

Так, для робинга КСИЗ [7] функция плотности распределения имеет вид

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(t - \bar{t})^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), \quad (3)$$

$$\text{где } \bar{t} = \begin{cases} 239.5 - \text{математическое ожидание робинга ККСИЗ} \\ \quad \text{с ФП в 3-ей тренировочной попытке, с;} \\ 244.5 - \text{математическое ожидание робинга КСИЗ} \\ \quad \text{1 типа в 4-ой тренировочной попытке, с,} \end{cases}$$

$$\sigma = \begin{cases} 52.6 - \text{среднеквадратичное отклонение робинга ККСИЗ} \\ \quad \text{с ФП в 3-ей тренировочной попытке, с;} \\ 47.61 - \text{среднеквадратичное отклонение робинга КСИЗ} \\ \quad \text{1 типа в 4-ой тренировочной попытке, с.} \end{cases}$$

Кроме этого надо учесть, что оценивать уровень подготовленности спасателей к работе в комплексе средств индивидуальной защиты можно после трех тренировочных попыток при использовании КСИЗ с ФП, и после четырех – КСИЗ 1 типа [9].

Учитывая требование [10] о том, что время робинга КСИЗ не должно превышать 300 с (т.е. все результаты, которые будут больше, начиная с третьей тренировочной попытки для КСИЗ с ФП или четвертой для КСИЗ 1-го типа, являются неудовлетворительными), выражение для определения вероятности попадания в заданный интервал в [2] и параметры функции Φ нормального распределения в (3) и (4), можно определить долю неудовлетворительных результатов

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 1 - (\widehat{P}_3 + \widehat{P}_4 + \widehat{P}_5) = 1 - P(t \leq t_3 = 300 \text{ с}) = 1 - \Phi\left(\frac{t_3 - \bar{t}}{\sigma}\right) = \\
 &= \begin{cases} 0,125 - \text{для робінга КСИЗ с ФП;} \\ 0,122 - \text{для робінга КСИЗ 1-го типа.} \end{cases} \quad (4)
 \end{aligned}$$

По аналогии с подходом, который применяется при обосновании физкультурных нормативов [1], допустим, что отличной оценке соответствует 10% положительных результатов, а хорошей и удовлетворительной - по 40% последующих. Тогда, используя обратную функция Φ^{-1} нормального распределения,

$$\begin{aligned}
 t_5 &= \bar{t} + \sigma \cdot \Phi^{-1}\left(\frac{1}{9} \cdot (1 - P_2)\right) = \\
 &= \begin{cases} 239,5 + 52,6 \cdot \Phi^{-1}\left(\frac{1}{9} \cdot (1 - 0,125)\right) \\ 244,5 + 47,61 \cdot \Phi^{-1}\left(\frac{1}{9} \cdot (1 - 0,122)\right) \end{cases} = \\
 &= \begin{cases} 171,25 \text{ с} - \text{для КСИЗ с ФП;} \\ 182,82 \text{ с} - \text{для КСИЗ 1-го типа;} \end{cases} \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_4 &= \bar{t} + \sigma \cdot \Phi^{-1}\left(\frac{1}{9} \cdot (1 - P_2) + \frac{4}{9} \cdot (1 - P_2)\right) = \\
 &= \begin{cases} 239,5 + 52,6 \cdot \Phi^{-1}\left(\frac{1}{9} \cdot (1 - 0,125) + \frac{4}{9} \cdot (1 - 0,125)\right) \\ 244,5 + 47,61 \cdot \Phi^{-1}\left(\frac{1}{9} \cdot (1 - 0,125) + \frac{4}{9} \cdot (1 - 0,122)\right) \end{cases} = \\
 &= \begin{cases} 237,67 \text{ с} - \text{для КСИЗ с ФП;} \\ 243,05 \text{ с} - \text{для КСИЗ 1-го типа.} \end{cases} \quad (6)
 \end{aligned}$$

С учетом требований кратности и запоминаемости [1] рекомендуются следующие нормативы

$$t_5 = \begin{cases} 170 \text{ с} - \text{для КСИЗ с ФП;} \\ 180 \text{ с} - \text{для КСИЗ 1-го типа;} \end{cases} \quad (7)$$

и

$$t_4 = 240 \text{ с} - \text{ для КСИЗ с ФП и для КСИЗ 1-го типа.} \quad (8)$$

Результаты имитационного моделирования локализации очага чрезвычайной ситуации методом реконденсации спасателями [8], показывают, что в третьей тренировочной попытке при работе в личного состава в КСИЗ с ФП функция плотности распределения имеет вид

$$f(t_{\text{реконд КСИЗФП}}) = \frac{1}{59,09 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(t - 556,74)^2}{2 \cdot 59,09^2}\right), \quad (9)$$

а при работе в КСИЗ 1-го типа в четвертой тренировочной попытке –

$$f(t_{\text{реконд КСИЗ1}}) = \frac{1}{66,20 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(t - 583,93)^2}{2 \cdot 66,20^2}\right). \quad (10)$$

Допустив [1], что отличной оценке соответствует 10% положительных результатов, а хорошей и удовлетворительной – по 40% последующих, получим

$$\begin{aligned} t_{5\text{реконд}} &= \bar{t}_{\text{реконд}} + G_{\text{реконд}} \cdot \Phi^{-1}(0,1) = \\ &= \begin{cases} 556,74 + 59,09 \cdot \Phi^{-1}(0,1) \\ 583,93 + 66,20 \cdot \Phi^{-1}(0,1) \end{cases} = \\ &= \begin{cases} 481,01 \text{ с- для КСИЗ с ФП;} \\ 499,09 \text{ с- для КСИЗ 1-го типа;} \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} t_{4\text{реконд}} &= \bar{t}_{\text{реконд}} + G_{\text{реконд}} \cdot \Phi^{-1}(0,1 + 0,4) = \\ &= \begin{cases} 556,74 + 59,09 \cdot \Phi^{-1}(0,5) \\ 583,93 + 66,20 \cdot \Phi^{-1}(0,5) \end{cases} = \\ &= \begin{cases} 556,74 \text{ с- для КСИЗ с ФП;} \\ 583,93 \text{ с- для КСИЗ 1-го типа;} \end{cases} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
 t_{3\text{реконд}} &= \bar{t}_{\text{реконд}} + G_{\text{реконд}} \cdot \Phi^{-1}(0,1 + 0,4 + 0,4) = \\
 &= \begin{cases} 556,74 + 59,09 \cdot \Phi^{-1}(0,9) \\ 583,93 + 66,20 \cdot \Phi^{-1}(0,9) \end{cases} = \\
 &= \begin{cases} 632,47 \text{ с - для КСИЗ с ФП;} \\ 668,74 \text{ с - для КСИЗ 1-го типа.} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{13}$$

С учетом требований кратности и запоминаемости [1] рекомендованы следующие нормативы для оценки уровня подготовленности личного состава к локализации очага чрезвычайной ситуации методом реконденсации

$$t_{5\text{реконд}} = \begin{cases} 480 \text{ с - для КСИЗ с ФП;} \\ 500 \text{ с - для КСИЗ 1-го типа;} \end{cases} \tag{14}$$

$$t_{4\text{реконд}} = \begin{cases} 555 \text{ с - для КСИЗ с ФП;} \\ 585 \text{ с - для КСИЗ 1-го типа;} \end{cases} \tag{15}$$

$$t_{3\text{реконд}} = \begin{cases} 630 \text{ с - для КСИЗ с ФП;} \\ 670 \text{ с - для КСИЗ 1-го типа.} \end{cases} \tag{16}$$

При этом, как было отмечено в [9], действия боевого расчета можно оценивать после третьей тренировочной попытки при работе личного состава в КСИЗ с фильтрующим противогазом, и после четвертой – при работе в КСИЗ первого типа.

Выводы:

- отмечено, что для статистической оценки нормативов, которые могут использоваться для оценки уровня подготовленности спасателей к работе в КСИЗ, целесообразно использовать параметры нормального распределения времени выполнения рассматриваемой операции (процесса), которые могут быть получены как в результате физического, так и имитационного на ЭВМ эксперимента;
- обосновано выражение для определения допустимой доли неудовлетворительных результатов робинга КСИЗ, которое опирается на наличие нормативного требования к минимально допустимому времени;

• пропонуються нормативи для оцінювання робінга КСИЗ як першого типу, так і оснащених фільтруючими противогазами, а також локалізації очага ЧС методом конденсації.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спортивная метрология. Учебник для ин-тов физ. культ./ Под ред. В.М.Зациорского. – М.: ФиС, 1982. – 256 с.
2. Стрелец В.М. Статистический метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения./ В.М. Стрелец, Т.Б. Грицай // Право і безпека: Науковий журнал. – 2002. – Вип.1 – С. 165-171.
3. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К.: УДПО МВС України, 1995. – 14 с.
4. Стрелец В.М. Особенности разработки нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения. / В.М. Стрелец, Д.Ю. Каскевич // Проблемы пожарной безопасности. – № 6. - Харьков: ХИПБ, 1999. – С.154-158
5. Введение в эргономику. / Под ред. В.П.Зинченко. – М., “Сов. радио”, 1974. – 351 с.
6. Ковальов П.А. Вдосконалення порівняльної оцінки апаратів на стисненому повітрі / П.А. Ковальов, В.М. Стрелець, М.В. Васильєв // Проблеми надзвичайних ситуацій - № 10 – Харків, Фоліо, 2009 – с.91-98
7. Стрелец В.М. Раскрытие закономерностей деятельности спасателей при выполнении основных операций в процессе ликвидации аварий с выбросом опасных химических веществ. / В.М. Стрелец, М.В. Васильев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты: Научный журнал – 2013`2 (17) – С.81-86
8. Стрелец В.М. Разработка нормативов боевого развертывания специальной техники на основе экспертных оценок. / В.М. Стрелец // Збірник наукових праць. Ракетно-космічна техніка. Вип.1. – Харків: ХВУ, 1999. – С.54-56.
9. Васильев М.В. Определение количества тренировочных попыток, после которого можно оценивать качество выполнения задания. / М.В.Васильев, В.М. Стрелец // Техносферная безопасность – 2013. – № 1 – Екатеринбург, Уральский институт ГПС МЧС России – С. 61-64

10. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования: ГОСТ Р 22.9.05-95. – [Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 20 июня 1995 г. №309]. – М.: Госстандарт, 1995. – 9 с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).

Стрілець В.М., Васильєв М.В., Тригуб В.В.

Розробка нормативів для оцінки підготовленості рятувальників до роботи в комплексі засобів індивідуального захисту

Запропоновано нормативи, які спираються на розрахунок зворотних функцій нормального розподілу, для оцінки як робінгу комплексу засобів індивідуального захисту першого типу та з фільтрувальним протигазом, так і локалізації осередку надзвичайної ситуації методом реконденсації. Показано, що параметри розподілу можуть бути отримані як шляхом натурного, так й імітаційного на ЕОМ експерименту.

Ключові слова: норматив, комплекс засобів індивідуального захисту, зворотна функція розподілу часу виконання

Strelec V.M., Vasil`ev M.V., Trigub V.V.

Development of standards for assessing preparedness rescuers to work together PPE

Proposed regulations, based on the calculation of the inverse function of the normal distribution to estimate how robing PPE first type and a filter mask and localization of emergency by recondensation. It is shown that the distribution parameters may be obtained as by-kind, and by computer simulation experiment.

Key words: standard, PPE, inverse distribution function of the execution time

*Тютюник В.В., канд. техн. наук, докторант, НУЦЗУ,
Бондарев М.В., канд. хім. наук, доц., ХНУ,
Шевченко Р.І., канд. техн. наук, нач. лаб., НУЦЗУ,
Чорногор Л.Ф., д-р фіз.-мат. наук, проф., ХНУ,
Калугін В.Д., д-р хім. наук, проф., НУЦЗУ*

**ОЦІНКА РІВНЯ ТЕХНОГЕННОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЇ
УКРАЇНИ ЗА ДАНИМИ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РЕГІОНІВ МЕТОДАМИ ФАКТОРНОГО
АНАЛІЗУ І АНАЛІЗУ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ**
(представлено д-ром техн. наук Соловійом В.В.)

Представлені результати оцінки: а) методом факторного аналізу – кореляції між основними показниками життєдіяльності України; б) методом головних компонент – показника використання енергії техногенного походження, як групуючої змінної основних показників життєдіяльності України у режимі повсякденного функціонування та в умовах прояву надзвичайних ситуацій (НС) техногенного походження.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, техногенна небезпека, енергетичний підхід, багатомірні статистичні методи, факторний аналіз, аналіз головних компонент, комплексна система попередження надзвичайних ситуацій

Постановка проблеми. Умови нормального функціонування території України, як природно-техногенно-соціальної системи (ПТС системи), являють собою багатоконпонентний вектор параметрів життєдіяльності в режимі встановленого природно-техногенного енергетичного балансу ($E^{ПТС} = E^П + E^T$, де $E^П$ – енергія природного походження, E^T – енергія техногенного походження). Протилежною складовою для енергії цього процесу є вплив руйнівних енергій небезпек на характеристики багатоконпонентного вектору параметрів життєдіяльності ПТС системи в умовах прояву надзвичайних ситуацій техногенного походження [1, 2].

Техногенно-енергетичні умови повсякденного функціонування території України та прояву на ній техногенної небезпеки проілюстровано на рис. 1, де енергія техногенного походження (E^T) являє собою складову енергій різних видів па-

лив (E_{II}) і електричної енергії (E_E), які споживаються регіонами держави, $E^T = E_{II} + E_E$.

В зв'язку з цим виникає необхідність розробки ефективних заходів щодо забезпечення раннього моніторингу, запобігання та ліквідації НС різної природи [3, 4].

Реалізація цього підходу неможлива без проведення наукових досліджень, спрямованих на вивчення процесів зародження попередніх чинників небезпек, їх розвитку до рівня катастроф, поширення цих катастроф і їх взаємного впливу (взаємній генерації) в умовах існування природно-техногенних, техногенно-техногенних і техногенно-природних взаємозв'язків.

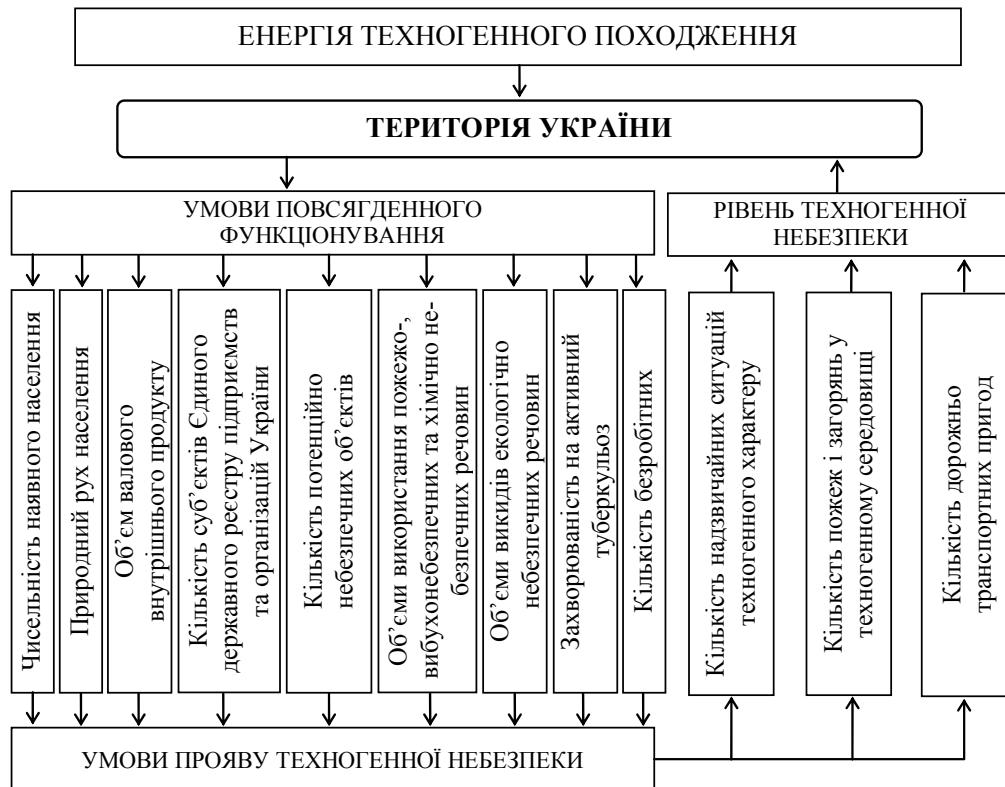


Рис. 1 – Енергетичні умови повсякденного функціонування території України та прояву техногенної небезпеки

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомі в науковій літературі [5-7] методи оцінки рівня небезпеки функціонування ПТС системи ґрунтуються на ймовірностатистичному або експертному аналізах прояву окремих складових небезпек і не враховують фізико-хімічні основи

Оцінка рівня техногенної небезпеки території України за даними аналізу показників життєдіяльності регіонів методами факторного аналізу і аналізу головних компонент

процесів виникнення попередніх чинників небезпеки та взаємозв'язку між ними, які призводять до розвитку НС, які з відповідним рівнем руйнівної енергії негативно впливають на умови нормального функціонування ПТС системи.

Тому, при розв'язанні проблеми формування системи комплексних заходів для запобігання НС різної природи виникає необхідність дослідження енергетичних особливостей прояву взаємозв'язків між складовими процесів життєдіяльності ПТС системи у режимах повсякденного функціонування та надзвичайного стану.

Першим кроком у даному напрямку являється результат розробки у роботах [8 – 11] підходу до оцінки окремих рівнів пожежної, хімічної, екологічної небезпеки та небезпеки, яка виникає при територіальному розподілі складів боєприпасів і підприємств з їх утилізації, на території України на основі аналізу її інтегрального показника життєдіяльності – енергії техногенного походження.

Наступним кроком при розробці наукових основ створення комплексної системи моніторингу, попередження та ліквідації НС різного походження являється проведення сумарної оцінки рівня техногенної небезпеки території України за даними аналізу взаємозв'язків між основними показниками життєдіяльності регіонів шляхом використання основних багатомірних статистичних методів аналізу – факторного, головних компонент, кластерного, дискримінантного та канонічного.

Постановка завдання та його вирішення. Загальною метою дослідження є розвиток уявлень про динаміку і енергетику функціонування ПТС системи України з рознесеними у просторі та часі різного роду джерел небезпек і їх дестабілізуючого впливу на умови безпеки життєдіяльності [12, 13].

Задачею цієї роботи, у рамках поставленої мети, є встановлення взаємозв'язку між значеннями основних параметрів життєдіяльності ПТС системи України і її рівнем техногенної небезпеки, яка реалізується шляхом проведення статистичного дослідження методами факторного аналізу і головних компонент [14].

Аналіз даних проведений з використанням статистичних пакетів STATISTICA 6.1 та SPSS 20.

Факторний аналіз включає групу методів, спрямованих на виявлення прихованих змінних факторів, що відповідають

за наявності лінійних кореляцій між параметрами, що спостерігаються у процесі життєдіяльності ПТС системи та у процесі виникнення техногенних небезпек. Латентні фактори (F_i) можна виразити лінійними комбінаціями спостережуваних змінних (X_k), що мають вигляд

$$F_i = W_{i1}X_1 + W_{i2}X_2 + \dots + W_{ik}X_k, \quad (1)$$

де $W_{11} \dots W_{ik}$ – коефіцієнти значення факторів.

У основі факторного аналізу лежить побудова матриці кореляції між всіма можливими парами змінних, що визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи та прояву техногенної небезпеки. Результати кореляційного аналізу вибірки, що включає, за даними [8 – 11, 15, 16], 275 спостережень по території 25 регіонів України за період 2002 – 2012 рр. з кроком спостереження – один рік, представлені у табл. 1, де E^T – енергія техногенного походження, $S^{Тер.}$ – площа території, $N^{Насел.}$ – чисельність наявного населення, N^H – кількість народжених, $N^П$ – кількість померлих, $S^{ВВП}$ – об'єм валового внутрішнього продукту, $K_{Суб'ект.}$ – кількість суб'єктів Єдиного державного реєстру підприємств та організацій України, $K_{ПНО}$ – кількість потенційно небезпечних об'єктів, $Q_{ПВНР}$ – об'єм використання пожежо- і вибухонебезпечних речовин, $Q_{ХНР}$ – об'єм використання хімічно небезпечних речовин, $Q_{Атм.}$ – об'єм викидів екологічно небезпечних речовин в атмосферу, $M_{ВР}$ – маса вибухової речовини, яка підлягає утилізації на військових об'єктах, $N_{Туберк.}$ – кількість хворих на активний туберкульоз, $N_{Безробіт.}$ – кількість безробітних, $K_{НС}^{Тех.}$ – кількість надзвичайних ситуацій техногенного походження, $K^{Пожезж.}$ – кількість пожеж і загорянь у техногенному середовищі, $K^{ДТП}$ – кількість дорожньо-транспортних пригод.

Перевірка можливості проведення факторного аналізу базується на застосуванні критеріїв сферичності Бартлетта та адекватності вибірки Кайзера-Мейера-Олкіна (КМО) [14].

Таблиця 1 – Кореляційна матриця основних змінних, визначаючих умови повсякденного функціонування ІТС системи України та прояву техногенної небезпеки

Змінні	Γ_T	S_T	$N_{\text{насел.}}$	N_{II}	N_{III}	$S_{\text{ВВП}}$	$K_{\text{суб'єкт.}}$	$K_{\text{ІНО}}$	$Q_{\text{ІВНР}}$	$Q_{\text{ХНР}}$	$Q_{\text{АТМ}}$	$M_{\text{ВР}}$	$N_{\text{губерк.}}$	$N_{\text{всеребт.}}$	$K_{\text{НС}}^{\text{тех}}$	$K_{\text{Пож.}}$	$K_{\text{ДПП}}$
E^T	1	0,29	0,77	0,59	0,81	0,41	0,36	0,81	0,24	0,48	0,94	-0,23	0,85	0,55	0,76	0,73	0,23
$S^{\text{Тер.}}$	0,29	1	0,44	0,35	0,50	0,30	0,36	0,44	0,05	0,39	0,23	0,33	0,51	0,25	0,33	0,46	0,22
$N^{\text{насел.}}$	0,77	0,44	1	0,92	0,97	0,72	0,81	0,86	0,40	0,48	0,72	-0,04	0,89	0,50	0,65	0,90	0,48
N^{II}	0,59	0,35	0,92	1	0,88	0,84	0,88	0,74	0,40	0,43	0,58	0,00	0,76	0,24	0,46	0,85	0,59
N^{III}	0,81	0,50	0,97	0,88	1	0,66	0,74	0,87	0,32	0,51	0,76	0,02	0,92	0,53	0,70	0,87	0,47
$S^{\text{ВВП}}$	0,41	0,30	0,72	0,84	0,66	1	0,88	0,56	0,44	0,27	0,42	-0,07	0,50	-0,02	0,24	0,78	0,76
$K_{\text{суб'єкт.}}$	0,36	0,36	0,81	0,88	0,74	0,88	1	0,55	0,54	0,23	0,29	0,02	0,56	0,15	0,29	0,77	0,65
$K_{\text{ІНО}}$	0,81	0,44	0,86	0,74	0,87	0,56	0,55	1	0,16	0,41	0,77	0,06	0,84	0,54	0,64	0,77	0,35
$Q_{\text{ІВНР}}$	0,24	0,05	0,40	0,40	0,32	0,44	0,54	0,16	1	-0,06	0,11	-0,17	0,22	0,06	0,10	0,44	0,30
$Q_{\text{ХНР}}$	0,48	0,39	0,48	0,43	0,51	0,27	0,23	0,41	-0,06	1	0,52	-0,15	0,60	0,24	0,36	0,45	0,12
$Q_{\text{АТМ}}$	0,94	0,23	0,72	0,58	0,76	0,42	0,29	0,77	0,11	0,52	1	-0,28	0,83	0,44	0,69	0,69	0,22
$M_{\text{ВР}}$	-0,23	0,33	-0,04	0,00	0,02	-0,07	0,02	0,06	-0,17	-0,15	-0,28	1	-0,08	0,02	-0,03	-0,12	0,01
$N_{\text{губерк.}}$	0,85	0,51	0,89	0,76	0,92	0,50	0,56	0,84	0,22	0,60	0,83	-0,08	1	0,54	0,76	0,81	0,31
$N_{\text{безробіт.}}$	0,55	0,25	0,50	0,24	0,53	-0,02	0,15	0,54	0,06	0,24	0,44	0,02	0,54	1	0,56	0,30	-0,06
$K_{\text{НС}}^{\text{тех}}$	0,76	0,33	0,65	0,46	0,70	0,24	0,29	0,64	0,10	0,36	0,69	-0,03	0,76	0,56	1	0,57	0,18
$K_{\text{Пож.}}$	0,73	0,46	0,90	0,85	0,87	0,78	0,77	0,77	0,44	0,45	0,69	-0,12	0,81	0,30	0,57	1	0,54
$K_{\text{ДПП}}$	0,23	0,22	0,48	0,59	0,47	0,76	0,65	0,35	0,30	0,12	0,22	0,01	0,31	-0,06	0,18	0,54	1

Критерій сферичності Бартлетта являє собою критерій багатомірної нормальності та перевіряє відмінність коефіцієнтів кореляції між змінними параметрами від нульового рівня.

Критерій адекватності вибірки КМО використовувався для виявлення ступеню впливу на кореляцію між парами змінних параметрів інших змінних.

Проведені розрахунки свідчать, що нульова гіпотеза про відсутність кореляції у вибірці, що аналізується, відхиляється у відповідності з критерієм сферичності Бартлетта (значення статистики $\chi^2 = 6871,778$ з числом ступенів свободи, рівним 136, являється значимим на рівні 0,05). Значення статистики КМО дорівнює: 0,800 (висока адекватність) < 0,850 < 0,900 (безумовна адекватність).

Таким чином, факторний аналіз являється допустимим методом для проведення аналізу вибірки основних змінних, що визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи і прояву техногенної небезпеки.

Визначення числа факторів проведено з використанням критерію «кам'янистого осипу».

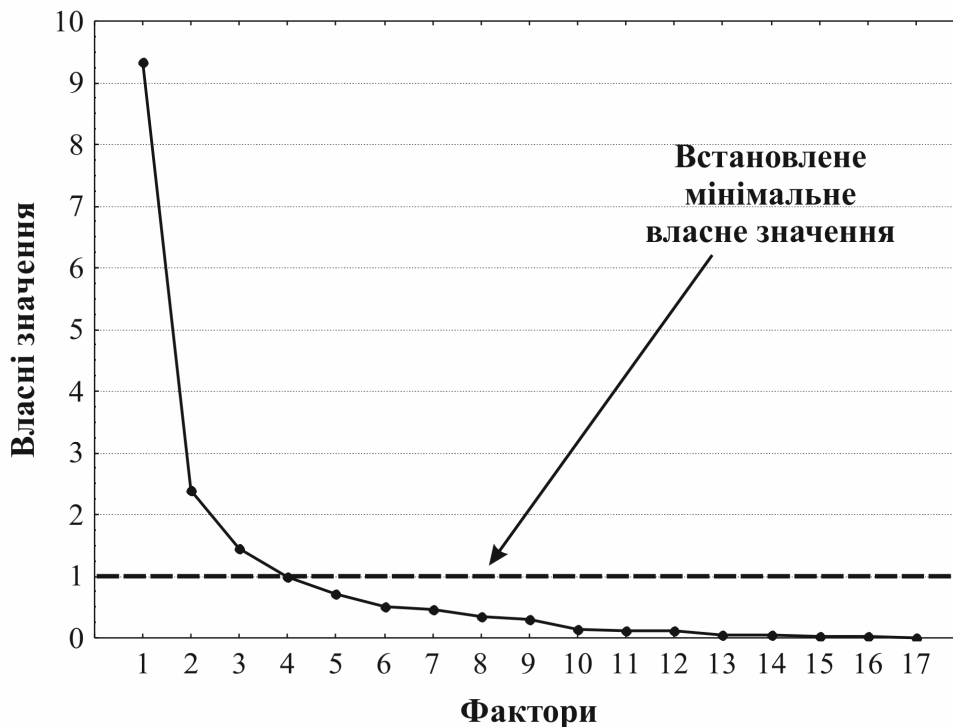


Рис. 2 – Графік «кам'янистого осипу» для вибору значимих факторів

Оскільки, згідно даних, представлених на рис. 2, у якості граничного значення вибрано мінімальне власне значення на рівні одиниці, у роботі, для проведення подальшого аналізу, узяті перші три значимі фактори, власні значення яких представлено у табл. 2.

Таблиця 2 – Власні значення значимих факторів, відповідних за наявність лінійної кореляції між основними змінними, які визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи України та прояву техногенної небезпеки

Фактор	Власне значення	Відсоток від загальної дисперсії	Кумулятивне власне значення	Кумулятивний відсоток від загальної дисперсії
1	9,34	54,92	9,34	54,92
2	2,38	14,01	11,72	68,93
3	1,46	8,57	13,17	77,50

Таким чином, значимість перших трьох латентних факторів, відповідно до представлених у табл. 2 результатів, складає 77,5% дисперсії аналізованих змінних, що визначає похибку подальших розрахунків у 22,5%, яка, відповідно до рис. 2, розподіляється на інші фактори. Крім того, подальше збільшення кількості факторів при аналізі приведе до ускладнення математичної моделі, оскільки власні значення останніх факторів менше одиниці.

Суттю факторного аналізу є процедура обертання факторів з метою перерозподілу дисперсії за певним законом (ортогональне або косокутне обертання). Серед безлічі існуючих методів обертання найбільш використовуваним ортогональним методом є метод «варімакс», який максимізує розкид квадратів навантажень для кожного фактору, що призводить до збільшення великих і зменшення малих значень факторних навантажень.

Одним з основних способів зменшення розмірності даних є метод головних компонент, який орієнтується на втрату найменшої кількості інформації і зводиться до обчислення власних векторів і власних значень коваріаційної матриці вихідних даних.

Використання вказаних методів при проведенні факторного аналізу дозволило отримати наступні результати.

Матриця факторних навантажень, що визначає лінійні кореляції між змінними і факторами, представлена у табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця факторних навантажень на основні змінні, які визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи України та прояву техногенної небезпеки

Змінні	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
E^T	0,912	0,221	-0,166
$S^{Тер.}$	0,375	0,255	0,662
$N^{Насел.}$	0,733	0,642	0,078
N^H	0,502	0,800	0,070
$N^П$	0,785	0,568	0,142
$S^{ВВП}$	0,215	0,924	-0,017
$K_{Суб'ект.}$	0,238	0,913	0,097
$K_{ІНО}$	0,797	0,401	0,174
$Q_{ПВНР}$	0,018	0,608	-0,299
$Q_{ХНР}$	0,599	0,110	0,060
$Q_{Атм.}$	0,885	0,190	-0,216
M_{BP}	-0,159	-0,002	0,880
$N_{Туберк.}$	0,886	0,367	0,091
$N_{Безробіт.}$	0,711	-0,136	0,149
$K_{НС}^{Тех.}$	0,821	0,091	0,065
$K_{Пожеж.}$	0,627	0,703	-0,002
$K_{ДТП}$	0,036	0,795	0,046
Загальна дисперсія	6,643	5,043	1,488
Доля загальної дисперсії	0,391	0,297	0,088

Виділені в табл. 3 навантаження з коефіцієнтом кореляції більше 0,7 свідчать, що практично всі змінні мають стійку кореляцію з першим і другим факторами. Особливий інтерес представляють змінні $Q_{ПВНР}$ і $Q_{ХНР}$, на які факторні навантаження мають практично рівний ($\approx 0,6$) вплив від двох перших факторів. Невисока кореляція всіх змінних, за винятком M_{BP} , з третім фактором відповідає отриманим у роботі [11] проти-

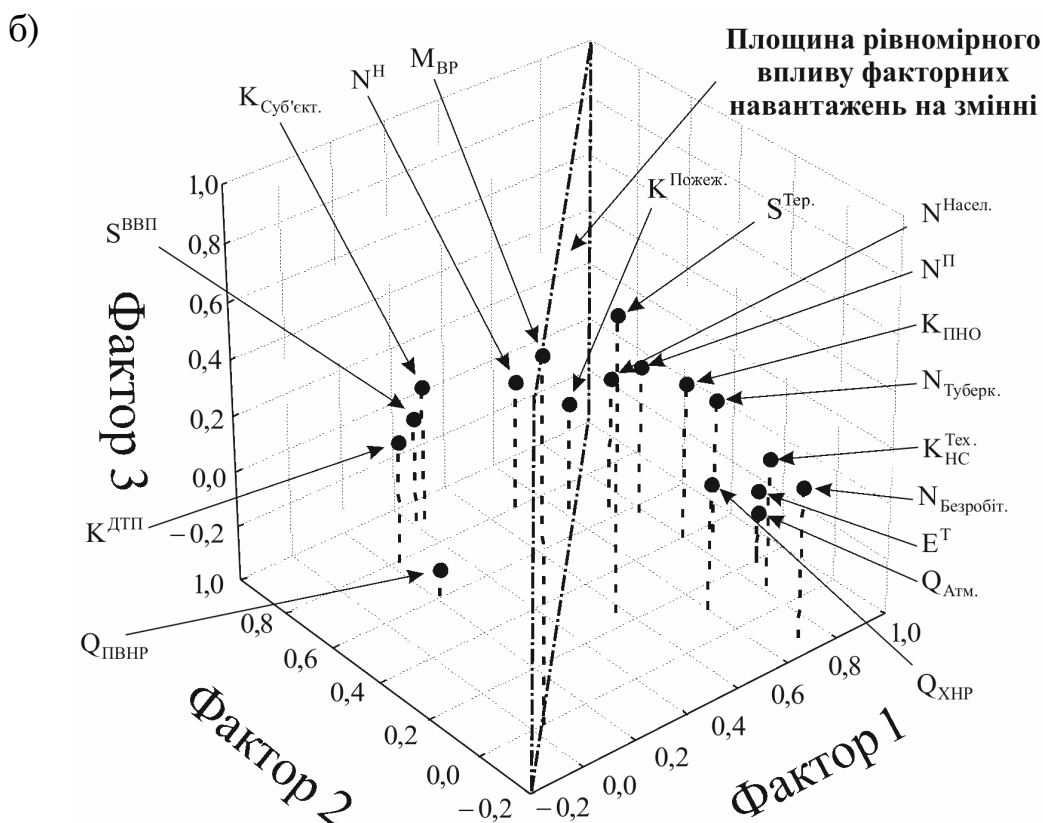
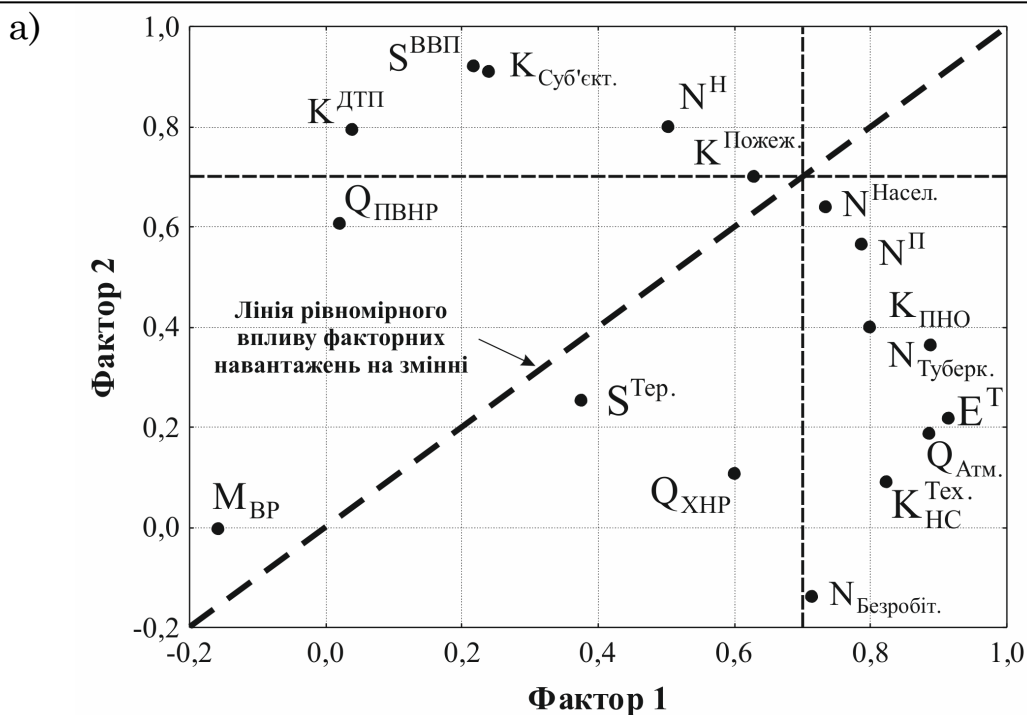


Рис. 3 – Графіки розподілу впливу факторних навантажень на змінні: а) при виборі перших двох факторів; б) при виборі перших трьох факторів

лежним аналітичним залежностям між показниками E^T і кількістю військових потенційно небезпечних об'єктів. Показник площі території ($S^{Тер.}$) має невисоку кореляцію з першими двома факторами, лише з третім фактором спостерігається кореляція на рівні 0,66.

Візуалізація результатів табл. 3, при виборі трьох перших значимих факторів, представлена на рис. 3, де спостерігається значний (більше 0,7) вплив першого фактора на показник E^T , довкола якого концентруються показники техногенної і екологічної безпеки, такі як: $K_{ПНО}$, $K_{НС}^{Тех.}$, $Q_{Атм.}$ і $N_{Туберк.}$. До них наближаються також показники $Q_{ХНР}$ і $N_{Безробіт.}$.

Таблиця 4 – Матриця коефіцієнтів значень факторів, які відповідають за наявність лінійної кореляції між основними змінними, які визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи України та прояву техногенної безпеки

Змінні	Фактор 1 (F_1)	Фактор 2 (F_2)	Фактор 3 (F_3)
E^T	0,181	-0,068	-0,146
$S^{Тер.}$	0,027	0,007	0,437
$N_{Насел.}$	0,069	0,081	0,018
N^H	-0,008	0,163	0,017
N^H	0,090	0,049	0,062
$S^{ВВП}$	-0,090	0,245	-0,036
$K_{Суб'ект.}$	-0,087	0,236	0,041
$K_{ПНО}$	0,117	-0,004	0,086
$Q_{ПВНР}$	-0,078	0,186	-0,217
$Q_{ХНР}$	0,119	-0,059	0,020
$Q_{Атм.}$	0,181	-0,073	-0,179
$M_{ВР}$	-0,063	0,006	0,607
$N_{Туберк.}$	0,145	-0,025	0,028
$N_{Безробіт.}$	0,179	-0,151	0,083
$K_{НС}^{Тех.}$	0,172	-0,098	0,017
$K_{Пожез.}$	0,037	0,116	-0,035
$K_{ДТП}$	-0,113	0,232	0,015

Оцінка рівня техногенної безпеки території України за даними аналізу показників життєдіяльності регіонів методами факторного аналізу і аналізу головних компонент

Фактор 2 сильно впливає на показник $S^{B\Pi\Pi}$, довкола якого концентруються такі показники, як $K_{\text{Суб'ект.}}$ і $K^{ДТ\Pi}$.

До лінії рівномірного впливу факторних навантажень прагнуть: соціальні показники $N^{\text{Насел.}}$, N^H , N^{Π} ; показник площі території $S^{\text{Тер.}}$; показник кількості пожеж і загорянь у техногенному середовищі ($K^{\text{Пожеж.}}$), що свідчить про існування впливу на рівень пожежного навантаження території України як соціально-економічних, так і техногенних показників. Крім того, показник $K^{\text{Пожеж.}}$ має майже такий же вплив від фактора 2 (0,701), як і змінна $Q_{\text{ПВНР}}$ (0,599), що вказує на існування взаємозв'язку між цими показниками.

Побудова факторної моделі, в рамках встановленого впливу факторних навантажень на змінні, базується на визначенні коефіцієнтів значення факторів 1 і 2. Так, у табл. 4 наведено коефіцієнти факторів, які визначені методом головних компонент, з використанням методу «варімакс».

Таким чином, значення факторів F_1 , F_2 і F_3 , які отримані для кожної змінної, можуть бути розраховані за рівняннями

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 0,181E^T + 0,027S^{\text{Тер.}} + 0,069N^{\text{Насел.}} - 0,008N^H + \\
 &+ 0,090N^{\Pi} - 0,090S^{B\Pi\Pi} - 0,087K_{\text{Суб'ект.}} + 0,117K_{\text{ПНО}} - \\
 &- 0,078Q_{\text{ПВНР}} + 0,119Q_{\text{ХНР}} + 0,181Q_{\text{Атм.}} - 0,063M_{\text{ВР}} + \\
 &+ 0,145N_{\text{Туберк.}} + 0,179N_{\text{Безробіт.}} + 0,172K_{\text{НС}}^{\text{Тех.}} + \\
 &+ 0,037K^{\text{Пожеж.}} - 0,113K^{ДТ\Pi}; \\
 F_2 &= -0,068E^T + 0,007S^{\text{Тер.}} + 0,081N^{\text{Насел.}} + 0,163N^H + \\
 &+ 0,049N^{\Pi} + 0,245S^{B\Pi\Pi} + 0,236K_{\text{Суб'ект.}} - 0,004K_{\text{ПНО}} + \\
 &+ 0,186Q_{\text{ПВНР}} - 0,059Q_{\text{ХНР}} - 0,073Q_{\text{Атм.}} + 0,006M_{\text{ВР}} - \\
 &- 0,025N_{\text{Туберк.}} - 0,151N_{\text{Безробіт.}} - 0,098K_{\text{НС}}^{\text{Тех.}} + \\
 &+ 0,116K^{\text{Пожеж.}} + 0,232K^{ДТ\Pi}; \\
 F_3 &= -0,146E^T + 0,437S^{\text{Тер.}} + 0,018N^{\text{Насел.}} + 0,017N^H + \\
 &+ 0,062N^{\Pi} - 0,036S^{B\Pi\Pi} + 0,041K_{\text{Суб'ект.}} + 0,086K_{\text{ПНО}} - \\
 &- 0,217Q_{\text{ПВНР}} + 0,020Q_{\text{ХНР}} - 0,179Q_{\text{Атм.}} + 0,607M_{\text{ВР}} + \\
 &+ 0,028N_{\text{Туберк.}} + 0,083N_{\text{Безробіт.}} + 0,017K_{\text{НС}}^{\text{Тех.}} - \\
 &- 0,035K^{\text{Пожеж.}} + 0,015K^{ДТ\Pi}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Для перевірки правильності виділення трьох факторів була обчислена відтворена кореляційна матриця, яка виявилася близькою до початкової. Для визначення відхилення між матрицями була побудована матриця залишкової кореляції, де спостерігається існування переважної більшості залишків, значення яких менше за $|0,10|$, що свідчить про адекватність побудованої факторної моделі на рівні 77,5% дисперсії.

Таблиця 5 – Власні значення матриці кореляції факторів, відповідних за наявність лінійних статистичних зв'язків між групуючою змінною (E^T) і змінними, які визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи України та прояву техногенної небезпеки

Фактор	Власне значення	Відсоток від загальної дисперсії	Кумулятивне власне значення	Кумулятивний відсоток від загальної дисперсії
1	8,660	54,12	8,660	54,12
2	2,232	13,95	10,892	68,07
3	1,397	8,73	12,289	76,81
4	0,996	6,23	13,285	83,03
5	0,705	4,41	13,990	87,44
6	0,481	3,01	14,471	90,44
7	0,437	2,73	14,908	93,17
8	0,356	2,23	15,264	95,40
9	0,279	1,75	15,544	97,15
10	0,128	0,80	15,672	97,95
11	0,112	0,70	15,784	98,65
12	0,102	0,64	15,886	99,29
13	0,048	0,30	15,934	99,59
14	0,043	0,27	15,976	99,85
15	0,016	0,10	15,992	99,95
16	0,008	0,05	16,000	100,00

Отриманий результат дозволив виділити три змінні, для яких факторні навантаження являються більшими за факторні навантаження на інші змінні. Так, при розгляді фактора 1 максимальне навантаження має змінна E^T (0,912). При розгляді фактора 2 максимальне значення факторного наванта-

Оцінка рівня техногенної небезпеки території України за даними аналізу показників життєдіяльності регіонів методами факторного аналізу і аналізу головних компонент

ження має змінна $S^{BВП}$ (0,924), а при розгляді фактора 3 – M_{BP} (0,880). Крім того, другий та третій фактори, на відміну від першого (54,92%), включають лише 14,01% та 8,57% дисперсії. Тому, наявність цих результатів вказує на необхідність використання інших розвідувальних методів аналізу, і зокрема, аналізу головних компонент, де групуючою змінною є показник E^T .

Метод головних компонент дозволяє обчислити головні компоненти і пов'язані з ними статистики. У роботі проведено аналіз двох типів – за допомогою матриці кореляції і за допомогою матриці коваріації.

Таблиця 6 – Факторні координати змінних, які визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи України та прояву техногенної небезпеки, основані на їх кореляції з групуючою змінною (E^T) за першими трьома факторами

Змінні	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
$N^{Насел.}$	-0,980	-0,002	-0,011
$S^{Тер.}$	-0,506	-0,134	0,602
N^H	-0,911	0,264	0,016
N^{II}	-0,974	-0,096	0,047
$S^{BВП}$	-0,764	0,562	-0,013
$K_{Суб'ект.}$	-0,790	0,513	0,082
$K_{ПНО}$	-0,873	-0,226	0,081
$Q_{ПВНР}$	-0,383	0,493	-0,260
$Q_{ХНР}$	-0,535	-0,331	-0,062
$Q_{Атм.}$	-0,763	-0,385	-0,317
M_{BP}	0,049	0,004	0,912
$N_{Туберк.}$	-0,914	-0,308	-0,030
$N_{Безробіт.}$	-0,461	-0,587	0,033
$K_{НС}^{Тех.}$	-0,681	-0,464	-0,044
$K_{Пожез.}$	-0,930	0,127	-0,067
$K_{ДТП}$	-0,550	0,577	0,079

Результати власних значень матриці кореляції (табл. 5) констатують, що фактор 1, який має максимальне значення

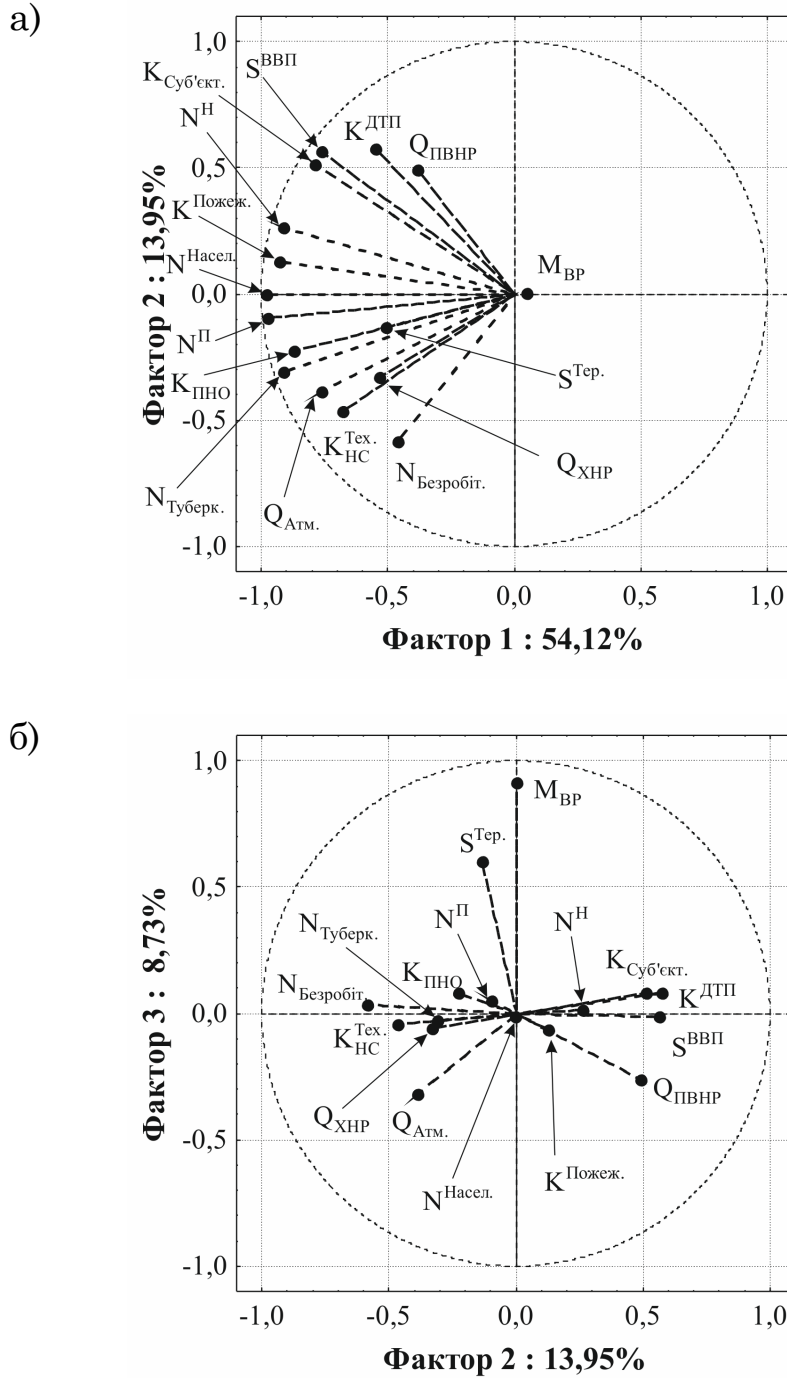


Рис. 4 – Графіки проєкцій змінних на факторні площини, побудовані на основі матриці кореляції: а) при виборі першого та другого фактору; б) при виборі другого та третього фактору

(8,66), описує 54,12% загальній дисперсії. Другий фактор, при значенні 2,23 відповідає за 13,95% дисперсії. Третій фактор – при власному значенні 1,40 відповідає за 8,73% дисперсії. Власні значення подальших факторів менші за одиницю і во-

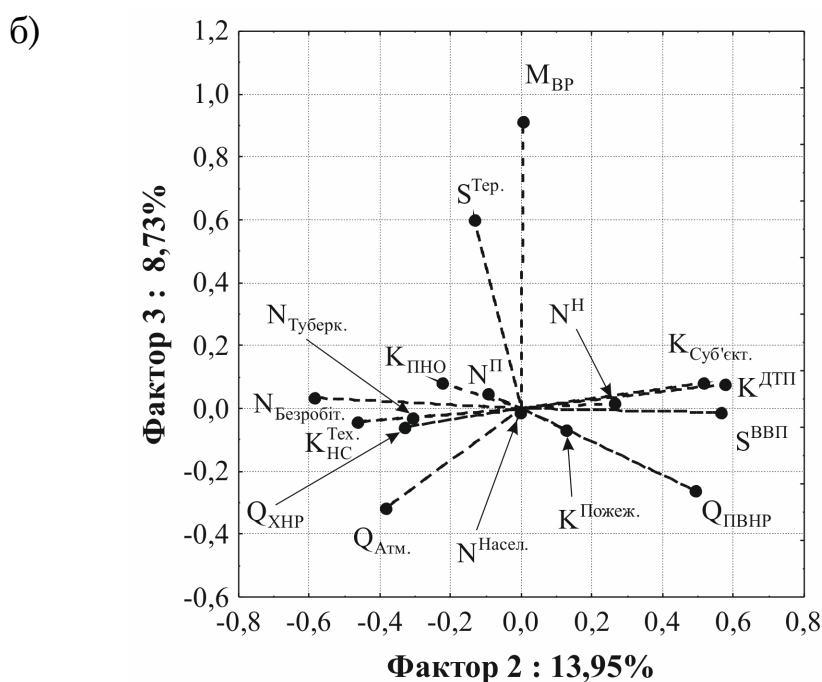
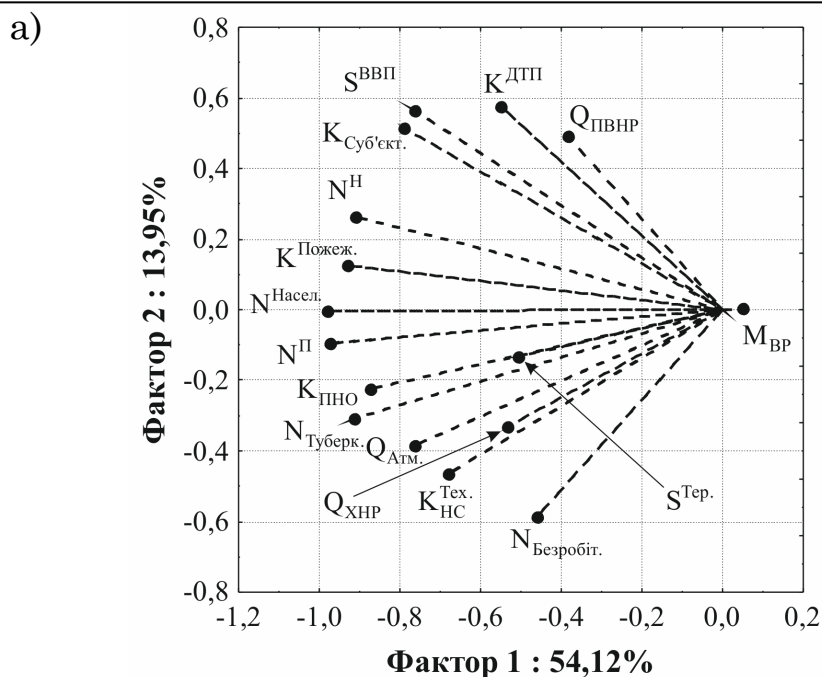


Рис. 5 – Графіки проекцій змінних на факторні площини, побудовані на основі матриці коваріації: а) при виборі першого та другого фактору; б) при виборі другого та третього фактору

ни в сумі відповідають лише за 23,19% дисперсії, тому в роботі для проведення подальшого аналізу узяті перші три значимі фактори.

Результати визначення факторних координат змінних на основі їх кореляцій з групуючою змінною E^T за першими трьома факторами, представлені у табл. 6.

Візуалізація результатів табл. 6 представлена на рис. 4, де коло з одиничним радіусом є візуальним індикатором того, наскільки добре змінні відтворюються поточним набором виділених факторів.

Так, перший фактор найсильніше корелює з змінними $N^{Насел.}$, N^H , $N^П$ і $K^{Пожсез.}$. Декілька менша кореляція першого фактора спостерігається з змінними, що визначають рівень техногенної небезпеки ПТС системи України, а саме: $K_{ПНО}$, $K_{НС}^{Тех.}$ і $Q_{Атм.}$. Висока кореляція також присутня для змінних, які характеризують економічну складову життєдіяльності, – $S^{ВВП}$ і $K_{Суб'єкт.}$. Другому фактору не властиві значні ($> 0,7$) кореляції із змінними. Третьому фактору притаманна висока кореляція з показником M_{BP} ($\approx 0,9$) та $S^{Тер.}$ ($\approx 0,6$).

Результати визначення факторних координат змінних на основі їх коваріації з групуючою змінною E^T , представлені на рис. 5, де також просліджується залежність між першим фактором і основними змінними, що визначають соціальні, економічні та техногенні умови життєдіяльності України.

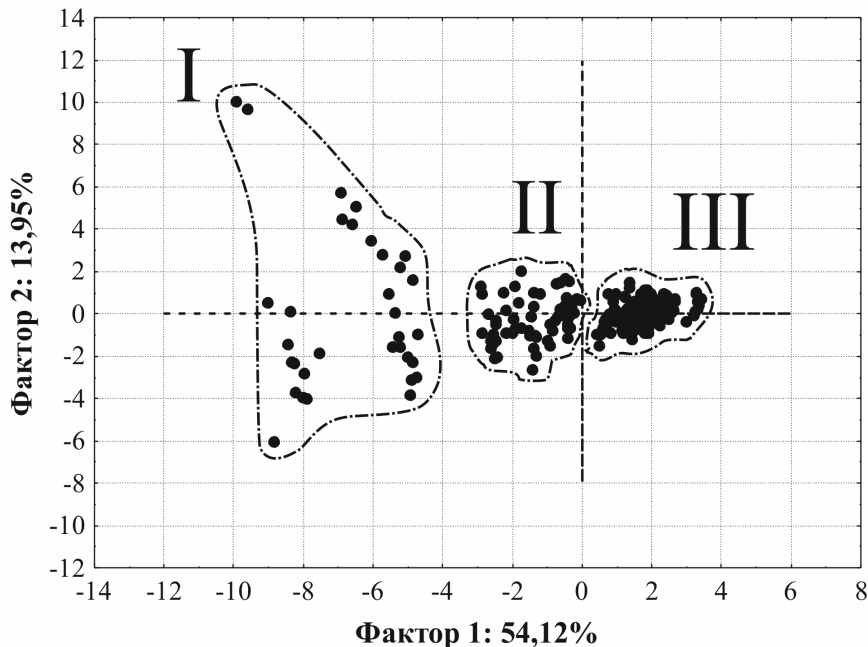


Рис. 6 – Графік проєкцій спостережень групуючої змінної (E^T) на факторну площину

Оцінка рівня техногенної небезпеки території України за даними аналізу показників життєдіяльності регіонів методами факторного аналізу і аналізу головних компонент

Виявлена на основі методу головних компонент досить виражена залежність між енергією техногенного походження та основними показниками, що визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи і прояву техногенної небезпеки, дозволила провести попередній класифікаційний аналіз за рівнем техногенного навантаження на територію України, шляхом нанесення 275 спостережень на факторну площину – рис. 6.

Як видно з рис. 6, територія України ділиться на райони з різним об'ємом споживання енергії техногенного походження, і, відповідно, з різними: соціально-економічним рівнем життєдіяльності і рівнем техногенної небезпеки. Так, до першої групи, яка характеризується великим рівнем споживання $E^T \approx 10^{18}$ Дж, відносяться Дніпропетровська, Донецька та Київська області. До другої групи, яка характеризується середнім рівнем споживання $E^T \approx 10^{17}$ Дж, відносяться Запорізька, Луганська, Львівська, Одеська, Харківська області та АР Крим. Інші регіони відносяться до третьої групи, яка характеризується малим рівнем споживання $E^T \approx 10^{16}$ Дж. Це вказує на необхідність вживання диференційованого територіального підходу при створенні ефективної комплексної системи моніторингу, запобігання та ліквідації НС техногенного походження і забезпечення екологічної безпеки [4, 17].

Висновки

1. У роботі обґрунтована ефективність енергетичного підходу для оцінки рівня техногенної небезпеки території України за основними показниками життєдіяльності, які включають соціальні, економічні та техногенні характеристики функціонування ПТС системи.

2. На основі проведеного факторного аналізу виявлені скриті (латентні) фактори, що відповідають за наявність лінійних статистичних зв'язків між спостережуваними змінними, що визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи України та прояву на її території техногенної небезпеки. Унаслідок об'єднання в кожному факторі змінних, що сильно корелюють між собою, спостерігається ефект виділення показника використання енергії техногенного походження, як групуючої змінної за основними показниками життєдіяльності України, в режимі повсякденного функціонування та в умовах прояву НС техногенного походження.

3. На основі проведеного аналізу головних компонент, виконаного на основі даних матриць кореляції та коваріації, встановлена наявність жорсткого взаємозв'язку між групуючою змінною (енергією техногенного походження) і основними соціальними, економічними та техногенними показниками функціонування ПТС системи України.

4. Отримані у роботі результати є основою для подальших наукових досліджень, спрямованих на класифікацію та ранжирування території України за рівнем небезпеки природного та техногенного характеру. Отримані результати необхідні для розвитку наукових основ створення ефективної територіальної комплексної системи моніторингу, запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного походження та забезпечення екологічної безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.
2. Осипов В.И. Природные опасности и стратегические риски в мире и в России / В.И. Осипов // Экология и жизнь. – 2009. – № 11 – 12 (96 – 97). – С. 5 – 15.
3. Азімов О.Т. Огляд поточного стану природно-техногенної безпеки в Україні та перспективи розвитку аналітичної інтерактивної системи моніторингу надзвичайних ситуацій засобами дистанційних, телематичних та ГІС-технологій / О.Т. Азімов, П.А. Коротинський, Ю.Ю. Колесніченко // ГЕОІНФОРМАТИКА – 2006. – № 4. – С. 52 – 66.
4. Тютюник В.В. Основні принципи інтегральної системи безпеки при надзвичайних ситуаціях / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2008. – Вип. 3(18). – С. 179 – 180.
5. Питулько В.М. Научное обеспечение управлением риска аварий и катастроф / В.М. Питулько // Инженерная экология. – 1996. – № 3. – С. 36 – 44.
6. Гражданкин А.И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных об-

- ъектов / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 2. – С. 12 – 20.
7. Кондратьев В.Д. Комплексная оценка уровня риска опасного объекта / В.Д. Кондратьев, А.В. Толстых, Б.К. Уандыков, А.В. Щепкин // Системы управления и информац. технологий. – 2004. – № 3(15). – С. 53 – 57.
 8. Калугін В.Д. Оцінка рівня пожежної небезпеки території України на основі аналізу енергетичних показників стану життєдіяльності / В.Д. Калугін, В.В. Коврегін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Пожежна безпека. – Львів: ЛДУ БЖД, 2013. – № 22. – С. 99 – 112.
 9. Калугин В.Д. Оценка уровня химической опасности территории Украины на основе анализа энергетических показателей жизнедеятельности / В.Д. Калугин, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.И. Шевченко // Нафтогазова енергетика. – 2013. – № 1(19). – С. 109 – 123.
 10. Калугін В.Д. Енергетичний підхід до оцінки екологічного стану природно-техногенно-соціальної системи України в режимі повсякденного функціонування / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Зб. наук. праць Севастопольського національного університету ядерної енергетики та промисловості. – Севастополь: СНУЯЕ-таП, 2013. – Вип. 4 (48). – С. 196 – 208.
 11. Калугін В.Д. Енергетичний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності природно-техногенно-соціальної системи України в умовах територіального розподілу складів боеприпасів і підприємств з їх утилізації / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 4 (36). – С. 47 – 56.
 12. Тютюник В.В. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2011. – Вип. 14. – С. 171 – 194.
 13. Калугін В.Д. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 1/6 (55). – С. 59 – 70.

14. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.О. Ким, Ч.У. Мюллер, У.Р. Клекка и др.; Под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
15. Україна у цифрах у 2011 році: Статистичний збірник / За редакцією О.Г.Осауленка – К.: Державна служба статистики України, 2012. – 250 с.
16. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua>
17. Калугін В.Д. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9 (116). – С. 204 – 216.

Тютюник В.В., Бондарев Н.В., Шевченко Р.І., Черногор Л.Ф., Калугін В.Д.

Оценка уровня техногенной опасности территории Украины по данным анализа показателей жизнедеятельности регионов методами факторного анализа и анализа главных компонент

Представлены результаты оценки: а) методом факторного анализа – корреляции между основными показателями жизнедеятельности Украины; б) методом главных компонент – показателя использования энергии техногенного происхождения, как группирующей переменной основных показателей жизнедеятельности Украины в режиме повседневного функционирования и в условиях проявления чрезвычайных ситуаций техногенного происхождения.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, техногенная опасность, энергетический подход, многомерные статистические методы, факторный анализ, анализ главных компонент, комплексная система предупреждения чрезвычайных ситуаций

Tiutiunik V.V., Bondarev N.V., Shevchenko R.I., Chernogor L.F.,
Kalugin V.D.

Assessment of level of technogenic danger of the territory of Ukraine by data analysis of indicators of activity of regions methods of the factorial analysis and analysis main component

Results of an assessment are presented: a) method of the factorial analysis – correlations between the main indicators of activity of Ukraine; b) method main a component – an indicator of use of energy of a technogenic origin, as a grouping variable of the main indicators of activity of Ukraine in a mode of daily functioning and in the conditions of manifestation of emergency situations of a technogenic origin.

Key words: emergency situation, technogenic danger, power approach, multidimensional statistical methods, factorial analysis, analysis main component, complex system of the prevention of emergency situations

УДК 614.83

*Чернобрывко М.В., канд. техн. наук, преп., НУГЗУ,
Светличная С.Д., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ,
Комяк В.М., д-р техн. наук, проф., НУГЗУ*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗАЩИТНЫХ КОНТЕЙНЕРАХ ПРИ ДЕТОНАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Рассматривается составная оболочка под действием внутренней ударно-волновой нагрузки. Исследуется напряженно-деформированное состояние конструкции, поведение материала оболочки моделируется с учетом динамических свойств на основе экспериментальных данных. Результаты исследований позволяют выбирать условия нагружения, при котором конструкция сохраняет свою работоспособность.

Ключевые слова: динамическая прочность, ударно-волновая нагрузка, скоростное деформирование, составная оболочка

Постановка проблемы. В последние годы возросла потребность в портативных защитных контейнерах, способных выдерживать детонационное воздействие. К конструкциям подобного рода выдвигается целый ряд требований. Основные из них можно сформулировать следующим образом: высокая прочность конструкционного материала, относительно малый

Чернобрывко М.В., Светличная С.Д., Комяк В.М.

вес, компактность конструкции, возможность многоразового использования и другие. Эти требования диктуют необходимость нетрадиционных инженерных решений, связанных с созданием требуемой конструкции из материалов, обладающих достаточно высокой прочностью при заданном весе.

Анализ последних исследований и публикаций.

Основные исследования по данному вопросу в целом были направлены на решение задачи в рамках линейной теории Тимошенко методом конечных элементов [1-2]. Однако, характер развития зон пластических деформаций при динамическом нагружении с учетом различных факторов, сопровождающих процесс деформирования, исследован недостаточно полно. Дальнейшее изучение этого вопроса требует совместного теоретико-экспериментального исследования [3-4]. Естественно, экспериментальные исследования в этой области крайне трудоемки и требуют значительных финансовых затрат, поэтому целесообразно решение поставленной задачи начать с математического моделирования, а затем путем численного эксперимента определить набор требований к материалу контейнера. Данная работа посвящена математическому моделированию динамических деформационных процессов в конструкции защитного контейнера вследствие детонационного внутреннего нагружения.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является создание адекватной реальному процессу математической модели, максимально учитывающей сложный физический характер деформирования. Предлагается защитный контейнер рассматривать как оболочку вращения, состоящую из трех частей. Первая часть – замкнутая цилиндрическая оболочка. Вторая и третья – полусферические днища. Предполагаем, что оболочка замкнутая, а отверстие люка существенно не влияет на ее прочностные свойства. Такая геометрия задачи приводит к необходимости отдельного изучения поведения цилиндрической и сферической частей. В узлах стыковки обязательно соблюдение условий совместности перемещений и деформаций. Симметрия конструкции позволяет упростить решение задачи за счет рассмотрения только одной из сферических оболочек. Таким образом, в плоскости окружности стыковки полусферы с цилиндром задаем начало координат – точку O . Из точки O проводим цилиндрические

координаты (r, φ, z) и сферические (r, φ, θ) так, чтобы они образовывали "правые тройки" и ось z совпадала с осью вращения составной оболочки.

Уравнения для компонент вектора перемещений запишем в рамках теории Тимошенко для оболочек и пластин [2]. Для цилиндрической части оболочки вектор перемещений $U_c = U(u, w, \beta)$ имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\nu}{R_c} \frac{\partial w}{\partial z} &= c_1 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{\partial \beta}{\partial z} - b_1 \left(\frac{w}{R_c} + \nu \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= c_2 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - q(z, t), \\ \frac{\partial^2 \beta}{\partial z^2} - b_2 \left(\frac{\partial w}{\partial z} + \beta \right) &= c_1 \frac{\partial^2 \beta}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $z \in [0, L]$, ν – коэффициент Пуассона, $c_1 = \frac{\rho(1-\nu^2)}{E(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)}$,

$c_2 = \frac{\rho}{kG(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)}$, $b_1 = \frac{2}{(1-\nu)kR_c}$, $b_2 = \frac{6(1-\nu)k}{h^2}$, R_c – радиус сре-

динной поверхности цилиндра, h – толщина оболочки, k – коэффициент кривизны оболочки, $E = E(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)$ и $G = G(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)$ – модули упругости при растяжении и сдвиге, зависящие от деформации ε , ее скорости $\dot{\varepsilon}$ и температуры T .

Значения модулей упругости для материала конструкции определяются экспериментально с учетом изменения физических характеристик в процессе деформирования [5].

Для сферической части составной оболочки уравнения движения в перемещениях $U_s = U(u, w, \beta)$ можно привести к виду

$$\begin{aligned} &\frac{E^2}{R_c^2} \operatorname{ctg} \omega \left[\frac{\partial^2 u}{\partial \omega^2} + \frac{\partial u}{\partial \omega} (1 + \nu) + \nu \left(\frac{\partial u}{\partial \omega} \operatorname{ctg} \omega - \frac{u}{\sin^2 \omega} \right) \right] \times \\ &\times \left[\left(\frac{\partial u}{\partial \omega} - u \operatorname{ctg} \omega \right) \cdot (1 - \nu) \right] + \frac{kGh}{R_c} \left[\frac{\partial w}{\partial \omega} - u + R_c \beta \right] = \rho h R_c \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ &\frac{kGh}{R_c} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial \omega^2} - \frac{\partial u}{\partial \omega} + R_c \frac{\partial \beta}{\partial \omega} + \operatorname{ctg} \omega \left(\frac{\partial w}{\partial \omega} - u + R_c \beta \right) \right] - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{E}{R_c} \left[(1 + \nu) \left(\frac{\partial u}{\partial \omega} + u \operatorname{ctg} \omega - 2w \right) \right] = \rho h R_c \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - R_c p(\omega, t), \\
 & \frac{E h^2}{12 R_c} \left[\frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} + \nu \operatorname{ctg} \omega \frac{\partial \beta}{\partial \omega} - \nu \beta \frac{1}{\sin^2 \omega} + \operatorname{ctg} \omega \left(\frac{\partial \beta}{\partial \omega} + \beta \operatorname{ctg} \omega (1 - \nu) \right) \right] - \\
 & -k G h \left[\frac{\partial w}{\partial \omega} - u + R_c \beta \right] = \frac{\rho h^3 R_c}{12} \frac{\partial^2 \beta}{\partial t^2}, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где $\omega = \frac{z}{R_c}$, а R_c – радиус срединной поверхности сферы. Остальные обозначения совпадают с принятыми ранее.

Начальные условия считаем нулевыми $U = \frac{\partial U}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0$.

Граничные условия принимаются в зависимости от способа закрепления сферического купола. В узлах стыковки сферического купола с цилиндром $U_c \Big|_{z=0} = U_s \Big|_{z=0}$, для свободного края $\frac{\partial U}{\partial z} \Big|_{z=-R_c} = 0$, либо для защемления $U \Big|_{z=-R_c} = 0$.

Параметры детонационной нагрузки $q(z, t) = Q_{\max}(z) e^{\frac{t-t_0(z)}{\theta(z)}} F_1(z, t)$ и $p(\omega, t) = Q_{\max}(\omega) e^{\frac{t-t_0(\omega)}{\theta(\omega)}} F_2(\omega, t)$ определяются экспериментальным путем [4].

Система шести уравнений (1) - (2), дополненная начальными и граничными условиями, позволяет определять поле перемещений конструкции, при этом деформационный процесс может протекать как в упругой, так и в пластической стадии. Связь между деформациями и перемещениями определяем следующим образом [1]

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial u}{\partial z}, \quad \varepsilon_2 = \frac{1}{R_c} w, \quad \varepsilon_3 = \frac{\partial \beta}{\partial z}, \quad \varepsilon_{12} = \frac{\partial w}{\partial z} - \beta, \quad (6)$$

где ε_1 – деформация растяжения-сжатия срединной поверхности в продольном направлении, ε_2 – деформация растяжения-сжатия срединной поверхности в окружном направлении, ε_3 – деформация изгиба срединной поверхности в продольном направлении, ε_{12} – деформация сдвига в срединной поверхности.

Предложенный выбор зависимостей (6) позволяет рассматривать все части составной оболочки как единое целое, предварительно сделав замену $z = R_c \cdot \omega$ для сферических куполов.

Дальнейшее математическое моделирование задачи проводится с учетом того факта, что под действием детонационной нагрузки в материале развиваются зоны пластического деформирования с возможным образованием адиабатических полос сдвига [4]. Поэтому дальнейшее решение сводится к определению интенсивности деформаций $\varepsilon_i = \varepsilon_i(\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t), \varepsilon_3(t), \varepsilon_{12}(t))$, а далее путем экспериментальных исследований находим зависимость для интенсивности напряжений материала оболочки $\sigma_i = \sigma_i(\varepsilon_i(t), \dot{\varepsilon}_i(t), T)$, где $\dot{\varepsilon}_i(t)$ - скорость деформаций, T - температура деформирующегося участка оболочки.

Интенсивность деформаций имеет вид [1]

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 + \frac{2}{3} \varepsilon_{12}^2}, \quad (7)$$

а интенсивность напряжений определяется с учетом полученных экспериментально динамических характеристик материала [3]

$$\sigma_i = \sigma_s \left\{ \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}_i}{D} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_s} - \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}_i}{D} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \right)^m \right\} \cdot \left(1 - \frac{T - T_k}{T_p - T_k} \right)^r, \quad (8)$$

где σ_s - статический предел текучести по напряжениям, ε_s - статический предел текучести по деформациям, D, n, m, r - экспериментальные параметры динамических свойств материала, T_k - температура, при которой проводилось определение характеристик материала, T_p - температура плавления материала.

Дальнейшее решение задачи проводится численными методами. В качестве примера была рассмотрена стальная (материал - сталь X18H10T) составная оболочка длиной $L = 1,22$ м, $R_c = 0,45$ м - радиус срединной поверхности, и толщи-

ной $h = 0,005$ м. Один сферический купол жестко закреплен, другой рассматривался как шарнирная опора. $Q_{\max}(z) = 9,5 \cdot 10^7$ Па. Определялось: напряженно-деформированное состояние составной конструкции, зоны максимальных напряжений, скорость движущейся границы зоны нагружения в момент достижения оболочки. Оценивалась прочность оболочки. Как правило, максимальная интенсивность напряжений наблюдается в центральной части конструкции и в сечениях заделки цилиндрической оболочки со сферическими куполами.

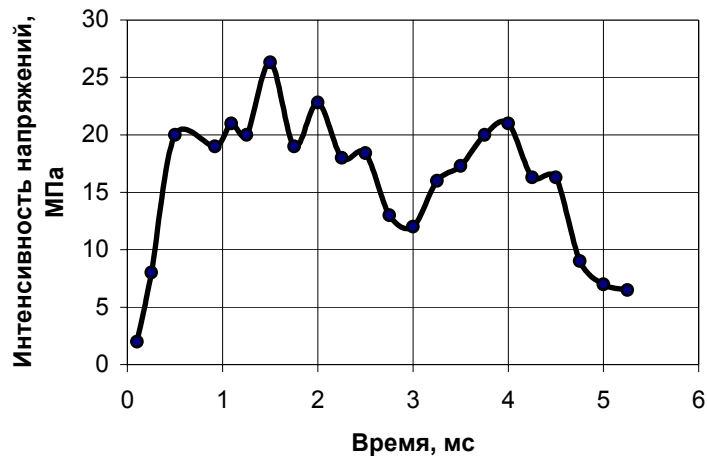


Рис. 1 – Интенсивность напряжений

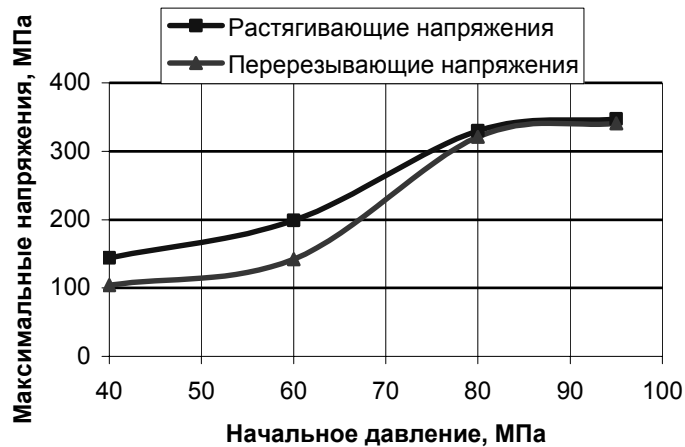


Рис. 2 – Уровень динамической нагрузки

На рис. 1 дана графіческая ілюстрація залежності інтенсивності напружень від часу в точці заделки. Хорошо спостерігається хвильовий характер процесу деформування. Також потрібно відзначити швидке затухання хвильового процесу. Результати досліджень, представлені на рис. 2, дають можливість визначити рівень динамічної навантаження, при якій максимальні інтенсивності напружень не перевищують допустимих.

Висновки. Представлений метод дозволяє оцінити динамічну міцність і прогнозувати цілісність складової оболонки під дією внутрішнього детонаційного навантаження. Характерною особливістю запропонованого методу є врахування впливу швидкості деформації і температури при пластичному деформуванні.

Проведені чисельні дослідження встановили той факт, що найбільша ймовірність руйнування конструкції при деформації – в місці з'єднання її складових частин або в середині системи. Тому подальші дослідження необхідно направити на пошук оптимальних розмірів конструкції, що забезпечують її повноцінне функціонування.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швидкісне деформування елементів конструкцій / Ю.С. Вороб'єв, А.В. Колодяжний, В.І. Севрюков, Е.Г. Янютин. - К.: Наук, думка, 1989. - 192 с.
2. Вороб'єв Ю.С. Об особливостях моделювання ударно-імпульсного навантаження оболонок і пластин / Ю.С. Вороб'єв, М.В. Чернобрывко // Механіка та машинобудування. – 2006.- № 1 - С. 39 - 45.
3. Чернобрывко М.В., Вороб'єв Ю.С. Швидкісне деформування захисних конструкцій під дією локальних імпульсних навантажень // Методи розв'язування прикладних задач механіки деформованого твердого тіла. – Вип. 13, 2012. – С. 406-412.
4. Chernobryvko M.V. Method to Analyze the Effect of the Shock-Wave Loading on Building Elements / M.V. Chernobryvko, Y.S. Vorobyov, L. Kruszka // International Journal of Protective Structures. – Vol. 3, № 2, 2012. – P. 141-146.

5. Johnson G.R. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures / G.R. Johnson, W.H. Cook // Engineering Fracture Mechanics. – 1985. – Vol.21, No 1. – P. 31 – 48.

Чернобрывко М.В., Світлична С.Д., Комяк В.М.

Проблеми забезпечення безпеки під час детонаційного впливу

Розглядається складова оболонка під дією внутрішньої ударно-хвильової навантаження. Досліджується напружено-деформований стан конструкції, поведінка матеріалу оболонки моделюється з урахуванням динамічних властивостей на основі експериментальних даних. Результати досліджень дозволяють вибирати умови навантаження, при якому конструкція зберігає свою працездатність.

Ключові слова: динамічна міцність, ударно-хвильове навантаження, швидкісне деформування, складена оболонка

Chernobryvko M.V., Svetlichna S.D., Komyak V.M.

Safety problems under detonation loading

The compound shell under action detonation loading is investigated. The deformation state condition taking into account. The mathematical model was developed with the result of experimental data. Investigation results are gives possibility to determine level of dynamics loading, at witch structure keep its cervice capacity. Results of researches allow to choose conditions of dynamic loading at which the design keeps the serviceability.

Key words: dynamic strength, shock-wave loading, high-speed deformation, the compound shell

ЗМІСТ

Абрамов Ю.А., Тищенко Е.А., Борисова А.С. Математическое обеспечение объектовых испытаний датчиков первичных факторов системы ослабления последствий аварий 3	
Альшианов Г.Н., Тарасенко А.А. Варианты действия руководителя ликвидации аварийного разлива нефти на акватории моря..... 9	
Беликов А.С., Касьян А.И., Рагимов С.Ю., Чаплыгин А.С., Шаломов В.А., Маладыка И.Г. Теория принятия решений при проведении аварийно-спасательных (АСР) и ремонтно-восстановительных (РВР) работ в условиях обрушения строительных конструкций..... 16	
Борисова Л.В., Загора О.В., Селеєнко Є.Є., Феценко А.Б. Оцінка готовності оператора до прийняття рішень при ліквідації швидкоплинних надзвичайних ситуацій 23	
Бугаєв А.Ю., Соловей В.В. Выбор условной вероятности поражения человека в зависимости от поражающих факторов огненного шара 31	
Грінченко Є.М., Соколов Д.Л., Федоренко Р.М. Визначення терміну безпечної експлуатації стінки вертикального резервуару для збереження нафтопродуктів в експлуатації..... 38	
Гузенко В.А., Неклонський І.М. Математична модель формування системи взаємодії підрозділів різного підпорядкування при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій 49	
Дяченко Д.В., Росоха С.В., Солонець О.І., Самарін В.О. Напрямки розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій..... 53	
Калиновський А.Я., Коваленко Р.І., Коврегін В.В., Ларін О.О. Дослідження плавності ходу візка для транспортування вибухонебезпечних вантажів з нелінійним підресоренням..... 63	
Калиновський А.Я., Лагутін В.Л., Ларін О.М., Чернобай Г.О. Математична модель просторових коливань візка для транспортування небезпечних вантажів із пневматичним підвішуванням другої ступені 74	
Кочанов Е.О., Попов І.І., Толкунов І.О., Туркін І.Б., Шахов М.А. Оцінка радіаційної обстановки при позапроектних аваріях сховища відпрацьованого ядерного палива 88	
Предко В.О., Мішеніна О.С., Стрілець В.М. Визначення границь застосування існуючих методів розрахунку професійного ризику 98	
Рогозін А.С., Левченко Р.Т. Аналіз перехідного процесу зміни ймовірностей знаходження сил цивільного захисту в стані ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій..... 107	
Рыбка Е.А., Гвоздь В.М. Математическая модель механических свойств защитных покрытий строительных конструкций, работающих в условиях чрезвычайных ситуаций.. 115	
Сенчихин Ю.Н. Формализация задачи анализа работы спасательного устройства для метания снаряда с тресом на высоты зданий в общей постановке 120	
Собина В.А., Соболев А.Н., Тригуб В.В., Олениченко Ю.А. Математическая модель тепловизионного мониторинга пожаров на полигонах твердых бытовых отходов. 126	
Стрелец В.М., Васильев М.В., Тригуб В.В. Разработка нормативов для оценки подготовленности спасателей к работе в комплексе средств индивидуального типа..... 133	
Тютюник В.В., Бондарев М.В., Шевченко Р.І., Черногор Л.Ф., Калугін В.Д. Оцінка рівня техногенної небезпеки території України за даними аналізу показників життєдіяльності регіонів методами факторного аналізу і аналізу головних компонент 142	
Чернобрышко М.В., Светличная С.Д., Комяк В.М. Моделирование динамических деформационных процессов в защитных контейнерах при детонационном воздействии 162	

Наукове видання

ПРОБЛЕМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Випуск 19

Головний редактор Ю.О. Абрамов

Відповідальний секретар О.Ю. Кірючкін

Підписано до друку 23.04.2014

Вид. арк. 13,96

Ум.-друк. арк. 9,84

Формат паперу 60x84/16

Тир. 300

Зам. 618 – 2014

Ціна договірна

61023, Харків, вул. Чернишевського, 94

Електронна адреса: <http://nuczu.edu.ua/ukr/>

Типографія Національного університету цивільного захисту України