

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА
“ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ”

ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА
БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

ВИПУСК 11

КИЇВ
2016

Головний редактор
ЛИСИЧЕНКО Георгій Віталійович

Editor-in-chief
Georgiy V. LYSYCHENKO

Заступник головного редактора:
Забулонів Ю.Л. (Україна)

Deputy Editor:
Zabulonov Yu.L. (Ukraine)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Барбашев С.В. (Україна)
Белєвцев Р.Я. (Україна)
Бондаренко Г.М. (Україна)
Верховцев В.Г. (Україна)
Дівізінюк М.М. (Україна)
Задвернюк Г.П. (Україна)
Коваленко Г.Д. (Україна)
Ковач В.О. (Україна)
Ольховик Ю.О. (Україна)
Покалюк В.В. (Україна)
Попов О.О. (Україна)
Тищенко Ю.Є. (Україна)
Улицький О.А. (Україна)
Фаррахов О.В. (Україна)
Чумаченко С.М. (Україна)
Шабалін Б.Г. (Україна)
Шмандій В.М. (Україна)
Яковлев Є.О. (Україна)
Яцишин А.В. (Україна)

EDITORIAL BOARD:

Barbashev S.V. (Ukraine)
Belevtsev R. Ya. (Ukraine)
Bondarenko G.M. (Ukraine)
Verkhovtsev V.G. (Ukraine)
Diviziniuk M.M. (Ukraine)
Zadvernyk G.P. (Ukraine)
Kovalenko G.D. (Ukraine)
Kovach V.O. (Ukraine)
Olkhovik Yu.O. (Ukraine)
Pokaluk V.V. (Ukraine)
Popov O.O. (Ukraine)
Tyshchenko Yu.Y. (Ukraine)
Ylitskiy O.A. (Ukraine)
Farrakhov O.V. (Ukraine)
Chumachenko S.M. (Ukraine)
Shabalin B.G. (Ukraine)
Shmandiy V.M. (Ukraine)
Yakovlev Y.O. (Ukraine)
Yatsyshyn A.V. (Ukraine)

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Войчик В. (Польща)
Алієв Р. (Азербайджан)
Калінін М. (Білорусь)
Єременко В.А. (Росія)

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

Wojcik W. (Poland)
Aliiev R. (Azerbaijan)
Kalinin M. (Belarus)
Eremenko V.A. (Russia)

Технічний секретар: Фесай О.П.

Редактор-перекладач англійського тексту: Ковач В.О.

ЗАСНОВНИКИ:

Національна академія наук України
Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Державна установа “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”

Адреса редакційної колегії:

03680, Київ-142, пр. Палладіна, 34-А

ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”,

Тел. (044) 424 00 29, факс (044) 423 17 96. Електронна пошта: u-risk@ukr.net

Сайт журналу: tes.igns.gov.ua

Друкується за постановою Вченої ради ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”

Свідоцтво про державну реєстрацію ДЗМІ – серія КВ № 16163-4635Р від 30.12.2009 р.

Фахова реєстрація у ВАК України в галузі геологічних і технічних наук (екологічна безпека)
Постанова Президії ВАК України від 23.02.2011 № 1-05/2

У 2014 р. журнал включений до бібліографічної бази даних наукових публікацій РІНЦ НЕБ (Російський індекс наукового цитування Наукової електронної бібліотеки).

ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

© *Державна установа “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”*

ЗМІСТ

<i>Дивизинюк М.М., Коноваленко Н.В., Лазаренко С.В., Фаррахов А.В.</i> Радиолокационное обнаружение людей на подходах к охраняемым объектам	5
<i>Азаренко Е.В., Гончаренко Ю.Ю., Дивизинюк М.М., Рыжкин А.С.</i> Поглощение радиоактивных, отравляющих и токсичных веществ, распыленных в атмосфере	15
<i>Стрільець В.М.</i> Розробка оперативно-технічного методу скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій	26
<i>Кустов М.В., Калугин В.Д.</i> Система обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы с использованием методов искусственного осадкообразования	37
<i>Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Алексеєва О.В.</i> Особливості функціонування системи «АЕС – навколишнє природне середовище»	44
<i>Каменева І.П., Артемчук В.О., Яцишин А.В.</i> Імовірнісна модель когнітивного аналізу даних моніторингу в задачах екологічної безпеки	57

CONTENS

<i>Divizinyuk M.M., Konovalenko N.V., Lazarenko S.V., Farrakhov A.V.</i>	5
People radar detection on the approach to protected objects	
<i>Azarenko E., Goncharenko Yu., Diviziniuk M., Ryzhkin A.</i>	15
The absorption of radioactive, toxic and toxic substances, sprayed into the atmosphere	
<i>Strelec V.M.</i>	26
The development of operational and technical method of reducing the time of the rescue the first fire and rescue units in the conditions of technogenic emergencies	
<i>Kustov M., Kalugin V.</i>	37
The lower atmosphere environmental safety system by means of the artificial atmospheric precipitation methods	
<i>Popov O.O., Yatsyshyn A.V., Kovach V.O., Aleksieieva O.V.</i>	44
Features of system functioning «NPP – environment»	
<i>Kamenev I.P., Artemchuk V.A., Yatsishin A.V.</i>	57
Probabilistic models for cognitive analysis data monitoring problems of environmental security	

УДК 551.463.2 + 004.386

**М.М. ДИВИЗИНЮК, Н.В. КОНОВАЛЕНКО, С.В. ЛАЗАРЕНКО,
А.В. ФАРРАХОВ**

ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», г. Киев

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЛЮДЕЙ НА ПОДХОДАХ К ОХРАНЯЕМЫМ ОБЪЕКТАМ

В работе проанализированы результаты численных экспериментов по обнаружению людей на подходах к охраняемым объектам, выполненных на основе ранее разработанной математической модели радиолокационного обнаружения опасных целей на подходах к охраняемому потенциально опасному объекту.

Введение

Предотвращение чрезвычайных ситуаций террористического характера – актуальная государственная задача, решением которой занимаются административные государственные и научные структуры, практические работники и учёные [1, 2]. На ядерных и других охраняемых объектах, которые в открытых источниках называют как объекты критической инфраструктуры, частное решение этих задач осуществляется системами физической защиты объекта путём контроля прилегающих территорий с использованием оптоэлектронных, акустических, контактных и радиолокационных средств [3, 4]. Главным параметром оценки эффективности использования средств обнаружения является дальность их действия. Дальность действия радиолокационной станции определяется мощностью излучаемого импульсного сигнала, коэффициентом усиления антенных устройств, чувствительностью приемного тракта, коэффициентом распознавания и площадью отражающей поверхности радиолокационной цели [5-8]. Несмотря на большой объем литературных источников данных по обнаружению людей, злоумышленников приближающихся к охраняемым объектам пока нет.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является выполнение численных экспериментов по обнаружению людей на подходах к охраняемым объектам.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Первоначально сформулировать методику проведения численных экспериментов. Затем рассмотреть их хронологию и результаты.

Методика проведения численных экспериментов

Методика проведения экспериментов с использованием первой лабораторной установки предусматривает выполнение следующих последовательных действий:

1. Определение главных технических параметров РЛС, а именно: частоты (длины волны) излучения, коэффициента распознавания, чувствительности приёмника, коэффициента усиления антенны, импульсной мощности. А также вторичных технических параметров: высоты расположения антенны, скорости обзора пространства, вертикального раскрытия антенны – ширины характеристики направленности в вертикальной плоскости.

2. Расчёта закономерности спада интенсивности электромагнитного поля как суммы двух слагаемых, а именно: уменьшение интенсивности за счёт расширения фронта электромагнитной волны при её распространении в распределённой воздушной среде.

3. Определение силы цели или площади отражающей поверхности одной, двух или большего количества целей.

4. Расчёт значения энергетического потенциала РЛС по каждой выбранной цели РЛС.
 5. Нахождение соответствия фиксированного значения энергетического потенциала значению закономерности спада электромагнитного поля.
 6. Определение значения дальности при котором достигается равенство энергетического потенциала РЛС и закономерности спада электромагнитного поля.
 7. Определение геометрической дальности обнаружения целей в соответствии с вертикальным профилем рельефа местности в районе ожидаемого обнаружения.
 8. Определение коэффициента аномалии среды (радиолокационного наблюдения) и корректировка окончательного значения ожидаемой дальности обнаружения выбранной цели по определённому направлению в заданных гидрометеорологических условиях.
- На этом численный эксперимент завершается.

Хронологию и результаты численных экспериментов

Выполним действия в соответствии с методикой, описанной в предыдущем параметре.

I. Определяем главные технические параметры РЛС. Рабочая длина волны 3.0 см. Коэффициент распознавания – 4. Чувствительность приёмника 10^{-12} Ватт. Коэффициент усиления антенны 300. Импульсная мощность 2кВт.

Вторичные параметры РЛС. Высота расположения антенны – 2,2 м. Скорость обзора пространства 12 об/мин. Ширина характеристики направленности в вертикальной плоскости по уровню 0,5 от главного максимума – 20° .

Переводя значения главных технических параметров в децибельную форма и складывая их соответствующим образом получим следующее:

$$10 \cdot \lg \delta + 10 \cdot \lg P_{\text{пр}} - 20 \cdot \lg K_{\text{ус}} - 10 \cdot P_{\text{н}} == 10 \cdot \lg 4 + 10 \cdot \lg 10^{-12} - 20 \cdot \lg 300 - 10 \cdot 2000 = \\ = 6.02\text{дБ} - 120\text{дБ} - 49.54\text{дБ} - 33.01\text{дБ} = -196.53\text{дБ}$$

Это значение определяет часть энергетического потенциала РЛС. Остаётся вторая часть, которая характеризуется площадью отражающей поверхности цели.

II. Расчёт закономерности спада интенсивности электромагнитного поля. Оно состоит из двух слагаемых, определяющих уменьшение интенсивности за счёт расширения фронта волн ($20 \cdot \lg D$), за счёт объёмного затухания волн ($\beta \cdot D_{\text{км}}$) и постоянной величины $10 \cdot \lg \pi = 10,99$ дБ.

Результаты выполненных расчётов представлены в таблицах 1 и 2.

III. Определение силы цели. Фактическая сила цели определяется экспериментальным путём. Имеются проверенные надёжные методики определения отражающих свойств различных объектов, но они требуют не

Таблица 1. Закономерность спада интенсивности электромагнитного поля (от 100 до 2000 м)

Д, м	$20 \cdot \lg D$	$\beta \cdot D_{\text{км}}$	E
100	40,00	0,5	51,50

200	46,02	1,0	58,02
300	49,54	1,5	61,05
400	52,04	2,0	65,04
500	53,97	2,5	67,47
600	55,56	3,0	69,56
700	56,90	3,5	71,25
800	58,06	4,0	73,06
900	59,08	4,5	74,58
1000	60,00	5,0	76,00
1100	60,82	5,5	77,32
1200	61,58	6,0	78,58
1300	62,27	6,5	79,77
1400	62,92	7,0	80,92
1500	63,52	7,5	82,02
1600	64,08	8,0	83,08
1700	64,60	8,5	84,10
1800	65,10	9,0	85,10
1900	65,57	9,5	86,07
2000	66,02	10,0	87,02

Таблица 2. Закономерность спада интенсивности электромагнитного поля (от 2000 до 5000 м)

Д, м	$20 \cdot \lg D$	$\beta \cdot D_{\text{км}}$	E
2100	66,44	10,5	87,94
2200	66,84	11,0	88,84
2300	67,23	11,5	89,73
2400	67,60	12,0	90,60
2500	67,95	12,5	91,35

2600	68,29	13,0	92,29
2700	68,62	13,5	93,12
2800	68,94	14,0	93,94
2900	69,24	14,5	94,74
3000	69,54	15,0	95,54
3200	70,10	16,0	97,10
3400	70,62	17,0	98,62
3600	71,12	18,0	99,12
3800	71,59	19,0	100,59
4000	72,04	20,0	103,04
4200	72,46	21,0	104,46
4400	72,86	22,0	105,86
4600	73,25	23,0	107,25
4800	73,62	24,0	108,62
5000	73,97	25,0	109,97

только специального дорогостоящего оборудования, но и специальных полигонов с размещением на них измерительных приборов и юстировочных стендов. Поэтому для определения отражающих свойств опасных радиолокационных целей воспользуемся симбиозом данных из различных источников.

Злоумышленник – это человек. Площадь отражающей поверхности человека среднего роста, весом до 60 кг в летней одежде равна около 250 см². У человека среднего роста, но весом более 90 кг в летней одежде увеличивается до 450 см². Если этому человеку добавить подмышечную кобуру с пистолетом Макарова в ней, то площадь отражающей поверхности увеличится на 35-40 см². При одевании на человека бронежилета (или пояса джахида – оснащённого тротильными мешками, гранатами или другими взрывчатыми веществами) площадь отражающей поверхности возрастёт на 0,25 м². В случае если в одной руке человека будет автомат Калашникова (АК), то его отражающая поверхность увеличится на 500-1000 см². Если же автомат будет держаться двумя руками на перевес, то площадь отражающей поверхности увеличивается на 1500 см². Наличие у человека на голове специального приспособления с прибором ночного видения увеличивает площадь отражающей поверхности на 30 см². Использование подручных транспортных средств, а именно роликов, лонгборда, велосипеда также приведёт к росту площади отражающей поверхности на 40 см², 80 см² и 1500 см² соответственно. Проверяя различные комбинации, получим силу цели – злоумышленника весом 60 и 90 кг в летней одежде и различных комбинациях вооружения.

IV. Расчёт энергетического потенциала РЛС с учётом всех возможных вариантов действий злоумышленников. Ниже приведены типы и оснащение целей по порядку.

1. Человек в летней одежде.
2. Человек в летней одежде вооружённый пистолетом в подмышечной кобуре.
3. Человек в летней одежде с пистолетом за поясом.
4. Человек в бронежилете (либо пояс шахида).
5. Человек в летней одежде с АК в руке.
6. Человек в летней одежде в АК наперевес.
7. Человек в летней одежде с прибором ночного видения (ПНВ).
8. Человек в летней одежде, передвигающийся на роликах.
9. Человек в летней одежде, передвигающийся на лонгборде.
10. Человек в летней одежде, передвигающийся на велосипеде.
11. Человек в бронежилете, вооружённый пистолетом, автоматом с ПНВ.

Вышеупомянутые типы целей также указываются для двух категорий: для человека весом до 60 кг и человека более 90 кг.

Значения энергетических потенциалов для указанных целей представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Значение энергетического потенциала РЛС по конкретным опасным целям (вес до 60 кг)

№ цели	Опасные цели	Площадь отражающей поверхности, м ²	Сила цели, дБ	Энергетический потенциал, дБ
1	Человек, весом до 60 кг	0,025	-16,02	-180,05
2	Человек, вооружённый ПМ в кобуре	0,026	-15,85	-180,67
		0,027	-15,76	-180,76
3	Человек, вооружённый ПМ за поясом	0,029	-15,45	-181,07
		0,029	-15,37	-181,15
4	Человек в бронежилете	0,275	-5,60	-190,92
5	Человек с АК в руке	0,075	-11,24	-185,28
		0,125	-9,03	-187,49
6	Человек с АК на перевес	0,175	-7,56	-188,96
7	Человек с ПНВ	0,028	-15,52	-181,00
8	Человек на роликах	0,029	-15,37	-181,15
9	Человек на лонгборде	0,033	-14,81	-181,71
10	Человек на велосипеде	0,175	-7,56	-188,96
11	Человек в бронежилете с АК, ПМ, ПНВ	0,408	-3,89	-192,63

Таблица 4. Значение энергетического потенциала РЛС по конкретным опасным целям (вес более 90 кг)

№ цели	Опасные цели	Площадь отражающей поверхности, м ²	Сила цели, дБ	Энергетический потенциал, дБ
1	Человек, весом более 90 кг	0,045	-13,46	-183,06
2	Человек, вооружённый ПМ в кобуре	0,046	-13,37	-183,15
		0,047	-13,32	-183,20
3	Человек, вооружённый ПМ за поясом	0,049	-13,14	-183,38
		0,049	-13,09	-183,43
4	Человек в бронежилете	0,295	-5,30	-191,22
5	Человек с АК в руке	0,095	-10,22	-186,30
		0,145	-8,38	-188,14
6	Человек с АК на перевес	0,195	-7,09	-189,43
7	Человек с ПНВ	0,048	-13,18	-183,34
8	Человек на роликах	0,049	-13,09	-183,43
9	Человек на лонгборде	0,053	-12,75	-183,77
10	Человек на велосипеде	0,195	-7,09	-189,43
11	Человек в бронежилете с АК, ПМ, ПНВ	0,428	-3,69	-192,83

V. Нахождение соответствия фиксированного значения энергетического потенциала значению закономерности спада электромагнитного поля.

VI. Определение значений энергетической дальности обнаружения соответствующих опасных целей. Вычисления дальности обнаружения целей представлены в таблицах.

VII. Определение геометрической дальности обнаружения исходя из высоты расположения антенны РЛС.

VIII. Определение коэффициента аномалии (радиолокационной наблюдаемости). При проведении численных экспериментов фиксированные значения коэффициентов для пониженной и повышенной радиолокационной наблюдаемости и соответствующие им ожидания дальности обнаружения опасных целей приведены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. Дальности обнаружения опасных целей (вес до 60 кг)

№ цели	Опасные цели	0,5 энергети ческого потенци ала, дБ	D ₀ , м				
			K=1	K=0,5	K=0,7	K=1,3	K=1,8
1	Человек, весом до 60 кг	-90,02	2333	1166	1633	3032	4199
2	Человек, вооружённый ПМ в кобуре	-90,33	2370	1185	1659	3081	4266
		-90,38	2375	1187	1659	3081	4266
3	Человек, вооружённый ПМ за поясом	-90,53	2390	1195	1673	3107	4302
		-90,57	2392	1196	1674	3109	4305
4	Человек в бронежилете	-95,46	2995	1497	2096	3893	5391
5	Человек с АК в руке	-92,64	2642	1320	1849	3434	4755
		-93,74	2778	1389	1944	3611	5000
6	Человек с АК на перевес	-94,48	2855	1427	1998	3711	5139
7	Человек с ПНВ	-90,50	2387	1193	1670	3103	4296
8	Человек на роликах	-90,57	2392	1196	1670	3103	4296
9	Человек на лонгборде	-90,85	2420	1210	1694	3146	4356
10	Человек на велосипеде	-94,48	2855	1427	1998	3711	5139
11	Человек в бронежилете с АК, ПМ, ПНВ	-96,31	3095	1547	2166	4023	5571

Лабораторная установка выполняет все приведённые расчёты, а интерфейс выходных данных позволяет отображать полученные результаты как в табличной форме, так и в форме диаграмм. Детально рассматривая результаты численных экспериментов, как теоретических расчётов, видно в летний период массогабаритные (антропометрические) характеристики имеют решающую роль в формировании отражающих свойств цели и собственно дальности её обнаружения: человек весом до 60 кг будет обнаружен почти на 200 м ближе, чем человек, вес которого превышает 90 кг.

В то же время, чем меньше вес человека, тем меньше влияние на дальность его обнаружения будут оказывать технические средства и лёгкое вооружение. Наличие прибора ночного видения приводит к увеличению дальности обнаружения человека весом около 60 кг на 55 м, наличие пистолета.

Таблица 6. Дальности обнаружения опасных целей (вес более 90 кг)

№ цели	Опасные цели	0,5 энергети ческого потенци ала, дБ	D ₀ , м				
			K=1	K=0,5	K=0,7	K=1,3	K=1,8
1	Человек, весом более 90 кг	-91,53	2520	1260	1764	3276	4536
2	Человек, вооружённый ПМ в кобуре	-91,57	2525	1262	1767	3282	4545
		-91,60	2530	1265	1771	3289	4554
3	Человек, вооружённый ПМ за поясом	-91,69	2535	1267	1774	3295	4563
		-91,71	2540	1270	1778	3302	4572
4	Человек в бронежилете	-95,61	3005	1502	2103	3906	5409
5	Человек с АК в руке	-93,15	2702	1351	1891	3512	4863
		-94,07	2815	1407	1907	3659	5067
6	Человек с АК на перевес	-94,71	2900	1450	2030	3770	5220
7	Человек с ПНВ	-91,67	2534	1267	1773	3294	4561
8	Человек на роликах	-91,71	2540	1270	1778	3302	4572
9	Человек на лонгборде	-91,88	2557	1278	1789	3324	4602
10	Человек на велосипеде	-94,71	2900	1450	2030	3770	5220
11	Человек в бронежилете с АК, ПМ, ПНВ	-96,41	3100	1550	2170	4030	5580

Макарова добавляет 40-60 м, а автомата Калашникова 300-420 м. В случае если вес злоумышленника превышает 90 кг, то наличие у него на голове ПНВ вызывает увеличение дальности обнаружения всего на 15 м, наличие ПМ на 10-40 м, а АК на 200-300 м.

По мере дальнейшего вооружения человека, его антропометрические данные имеют меньшее значение для отражающих характеристик опасной цели. Когда человек весом 60 кг идёт с АК на перевес (в положении на груди) то он обнаруживается на дистанции 2855 м, а человек весом более 90 кг на расстоянии 2900 м. Разница в дальности обнаружения сократилась с 200 до 45 м. Человек весом 60 кг, одетый в бронежилет, обнаруживается на удалении 2995 м, а человек весом более 90 кг на удалении 3005 м. Разница дальности до 10 м.

В случае если оба злоумышленника будут одеты в бронежилеты, оснащены ПНВ и вооружены пистолетами Макарова и автоматами Калашникова, то дальность их обнаружения будет полностью определяться отражающими характеристиками их

экипировки, а точнее шестидесятикилограммовый злоумышленник будет обнаружен на дистанции 3095 м, против дистанции в 3100 м для девяностокилограммового человека.

Наличие у злоумышленников подручных транспортных средств оказывает такое же влияние на суммарные отражающие свойства, как и вооружение. То есть чем большая отражающая способность транспортного средства, тем большее влияние оно оказывает на дальность обнаружения и тем меньше влияние антропометрических данных человека.

Другими словами, если дальность обнаружения на роликах человека весом 60 кг равна 2392 м, а человека на роликах весом 90 кг – 2540 м, то разница в дальностях обнаружения составит 148 м. Если же эти же люди воспользуются лонгбордами, то разница в дальностях обнаружения сократится до 137 м (2557 м против 2420 м), а при использовании велосипедов до 45 м (2900 м и 2855 м).

При проведении численных экспериментов во внимание принималась ровная земная поверхность без положительных либо отрицательных особенностей рельефа местности. Для высоты антенны 2,2 м видимая линия горизонта располагается на удалении 6,11 км, что существенно превышает энергетические дальности обнаружения опасных целей.

Влияние факторов среды, положительной и отрицательно рефракции учитывалось введением соответствующих коэффициентов (аномалии) радиолокационной наблюдаемости. В свою очередь, это приводило к соответствующим росту и уменьшению значений итоговых результатов расчётов.

Выводы

Таким образом, результаты численных экспериментов. Выполненных на разработанной первой лабораторной установке, показывают, что при радиолокационном обнаружении злоумышленников в летней одежде доминирующим фактором, определяющим ожидаемую дальность обнаружения, являются их антропометрические характеристики, в первую очередь рост и вес. По мере оснащения злоумышленников пистолетом, автоматом, бронежилетом, прибором ночного видения и подручных транспортных средств, возрастает роль отражающих свойств экипировки, которые сглаживают роль антропометрических характеристик. Ожидаемая дальность радиолокационного обнаружения злоумышленников, в зависимости от их экипировки и погодных условий могут изменяться от одного до пяти с половиной километров.

1. Гончаренко Ю.Ю. Оценка эффективности управления чрезвычайной ситуацией / Ю.Ю. Гончаренко, Е.В. Азаренко, Ю.В. Браславский и др. // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП. - Вып. 2 (38). - Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. - С. 239 - 245.

2. Гончаренко Ю.Ю. Защита информации - как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю.Ю. Гончаренко, Е.Е. Сычков, В.В. Рыбко // Збірник наукових праць СНУЯЕтаП. - Вип. 1 (41). - Севастополь: СНУЯЕтаП, 2012. - С. 207 - 211.

3. Гончаренко Ю.Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия / Ю.Ю. Гончаренко // Научно-практический журнал «Экономика и управление». - №5. - Симферополь: НАПКС, 2012. - С. 97 - 101.

4. Радиолокационные устройства [Теория и принципы построения]. - М.: «Советское радио», 1970. - 680 с.

5. Широков. Ю.Ф. Основы теории радиолокационных систем. - Самара: ГАЭУ, 2012. 128 с.

6. Бакулев П.А. Радиолокационные и радионавигационные системы / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский// Учебн. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1994. 296с.

7. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации/ Учебн. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1992. 304с.

8. Информационные технологии в радиотехнических системах Учебн. Пособие -2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Васин, И.Б. Власов и др. Под ред. И.Б.Федорова -М. Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. 768с.

М.М. Дівізінюк, М.В. Коноваленко, С.В. Лазаренко, О.В. Фаррахов
РАДІОЛОКАЦІЙНЕ ВИЯВЛЕННЯ ЛЮДЕЙ НА ПІДХОДАХ ДО ОБ'ЄКТІВ, ЩО ОХОРОНЯЮТЬСЯ

В роботі проаналізовані результати чисельних експериментів по виявленню людей на підходах до об'єктів, виконаних на основі раніше розробленої математичної моделі радіолокаційного виявлення небезпечних цілей на підходах до охоронюваного потенційно небезпечного об'єкту.

M.M. Divizinyuk, N.V. Konovalenko, S.V. Lazarenko, A.V. Farrakhov
PEOPLE RADAR DETECTION ON THE APPROACH TO PROTECTED OBJECTS
The paper analyzes the results of numerical experiments for the detection of people at the approaches to protected objects, made on the basis of previously developed mathematical models of radar detection of dangerous targets on the approach to protected potentially dangerous objects.

УДК 551.463.2

Е.В. АЗАРЕНКО, Ю.Ю. ГОНЧАРЕНКО, М.М. ДИВИЗИНЮК, А.С. РЫЖКИН
ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», г. Киев

ПОГЛОЩЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ, ОТРАВЛЯЮЩИХ И ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ, РАСПЫЛЕННЫХ В АТМОСФЕРЕ

В работе произведена систематизация свойств известных в настоящее время радиоактивных, отравляющих и токсичных веществ. Систематизированы знания о причинах их появления в атмосфере и методах их нейтрализации при очистке воздушной среды.

Введение

Государственная система гражданской защиты населения и территории Украины основывалась при создании на систему гражданской обороны бывшего Союза. Главной задачей обороны была защита населения и производственных сил от оружия массового поражения в особый период, а также спасение населения при стихийных бедствиях и производственных авариях в мирное время [1-2]. Современное представление о гражданской защите населения и территорий сместило акценты в сторону чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и социального характера [3-4].

Развитие новых технологий и создание современных производств привело к появлению не известных в середине двадцатого века веществ. Они обладают повышенными проникающими способностями, большей токсичностью и главное не улавливаются фильтрами старых поколений [5-6]. Эти фильтры, установленные в фильтровентиляционных установках, должны обеспечивать очистку воздуха и создавать подпор в защитных сооружениях. На сегодняшний день эти фильтры морально устарели и не обеспечивают необходимую степень очистки воздуха [7].

Это требует решение актуальной научной и практической задачи по исследованию процессов поглощения опасных веществ и очистке воздуха при фильтрации воздушной среды.

Постановка цели и задач научного исследования.

Целью данной работы является систематизация свойств известных в настоящее время радиоактивных, отравляющих и токсичных веществ и систематизация знаний о причинах их появления в атмосфере и методах их нейтрализации при очистке воздушной среды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во первых, проанализировать условия поглощения радиоактивных веществ, распыленных в атмосфере, при фильтрации этой воздушной среды. Во вторых, рассмотреть условия поглощения отравляющих и токсичных веществ, распыленных в атмосфере, при фильтрации этой воздушной среды.

Условия поглощения радиоактивных веществ, распыленных в атмосфере, при фильтрации этой воздушной среды

Только с появлением ядерного оружия и наступлением «атомного века» угроза радиоактивного заражения стала глобальной (и локальной) экологической проблемой.

Глобальная опасность испытательных ядерных взрывов была осознана достаточно давно. К середине 60-х годов стало ясно, что их продолжение, по крайней мере в воздухе, на земле и на воде, скоро приведет к такому повышению уровня радиации на всей Земле, который не только вызовет невиданный рост раковых заболеваний, но и необратимо разрушит генофонд человечества, чем обречет его на вырождение. Именно это заставило

ведущие ядерные державы, несмотря на острое в те годы военное и политическое противостояние «Запада» и «Востока», заключить договор о запрете ядерных испытаний в воздухе, на земле и на воде. Подземные ядерные испытания продолжаются до сих пор.

При ядерном взрыве мощный поток радиации действует как один из поражающих факторов на значительную территорию, до нескольких километров от эпицентра взрыва. При этом излучение, особенно одна из его составляющих – поток нейтронов – вызывает появление вторичной радиоактивности в облученных веществах. Поэтому, кроме испарившихся при взрыве остатков расщепляющихся материалов самой бомбы, радиоактивной становится пыль, многие сотни тонн которой поднимаются взрывом в верхние слои атмосферы. В составе этой пыли оказывается множество изотопов разных элементов. Значительная их часть распадается и теряет радиоактивность за короткое время, от нескольких часов до нескольких суток. Другие, имеющие большой период полураспада, сохраняют радиоактивность годами.

Радиоактивная пыль представляет особую опасность. Даже при незначительном среднем уровне радиоактивности, близком к фоновому, микроскопические частицы с высоким собственным уровнем радиоактивности, попадая с током крови во внутренние органы и «оседая» там, подвергают окружающую ткань локальному облучению, с высокой вероятностью вызывая развитие рака.

Но источники поступления радиоактивных загрязнений в атмосферу, как и в другие среды, не ограничиваются ядерными взрывами. Промышленное производство обогащенного урана для атомных бомб и ядерных реакторов, переработка плутония, получаемого в реакторах, производство радиоизотопов для промышленных и исследовательских целей постоянно создают угрозу утечки в окружающую среду какой-то части радиоактивных материалов. Особенно велика такая опасность при транспортировке, переработке и захоронении радиоактивных отходов атомных электростанций (АЭС) и реакторных установок атомных кораблей – подводных лодок, авианосцев, ледоколов.

Ядерная энергетика занимает в энергообеспечении разных стран заметное место. Франция, например, примерно на 80% покрывает свои потребности в электроэнергии за счет АЭС. На территории Европы работает несколько десятков АЭС, и их безопасность – предмет постоянной тревоги населения и забот работников станций. Очень опасны аварии на АЭС. Сколь бы малой ни была вероятность крупной аварии, она для любого, самого совершенного технического устройства не равна нулю. Соответственно более или менее крупные аварии, при которых в природную среду попадают радиоактивные вещества, время от времени происходят. Наиболее крупной была известная авария на 4 блоке Чернобыльской АЭС в 1986 году, при которой в атмосферу было выброшено в несколько десятков раз больше радиоактивных веществ, чем при взрывах первых атомных бомб над Хиросимой и Нагасаки. Ветры разнесли радиоактивные частицы по огромной территории, включающей частично Украину, Белоруссию, юго-западные области России, в меньших дозах – некоторые территории Польши, Швеции. Повышение уровня радиоактивности до 50% над фоновым было отмечено местами в Германии, Англии, в некоторых других европейских странах.

В предотвращении опасности радиоактивного загрязнения планеты важную роль играет система международных соглашений, которая постоянно совершенствуется. Существует международная организация по контролю за использованием атомной энергии, МАГАТЭ, проводящая независимую экспертизу ядерных проектов и ведущая постоянное наблюдение за выполнением согласованных норм при эксплуатации ядерных установок, используемых в мирных целях. К сожалению, их использование в военных целях во всех странах засекречено и не подлежит контролю МАГАТЭ. Это накладывает особую ответственность на вооруженные силы атомных держав.

Следует отметить важную роль общественных антиядерных движений, объединяющих врачей, ученых, деятелей культуры разных стран. Очень активна в этом отношении международная неправительственная организация «Гринпис» («Зеленый

мир»)), одна их задач которой – сделать достоянием международной общественности все вредные и опасные проявления злоупотреблений военной секретностью атомных объектов. Именно активность общественных организаций заставляет политиков постоянно работать над совершенствованием законодательства в этой области, финансировать различные программы исследований и конкретных мер по уменьшению радиационной опасности.

Образующиеся в ходе этих процессов радиоактивные отходы можно подразделить на два типа: продукты деления, которые содержатся в общей массе первичного и вторичного топлива, и внешние активированные продукты, находящиеся главным образом в охлаждающих средах. Следовательно, как элементы топлива, так и охлаждающие среды становятся потенциальными источниками радиоактивных загрязнений атмосферы. Последние могут возникать при поступлении в атмосферу радиоактивных газов, например, ксенона и криптона, являющихся продуктами деления; при сообщении наведенной активности содержащемуся в атмосфере аргону; при образовании радиоактивных аэрозолей, содержащих частицы первичного или вторичного топлива (уран, торий, плутоний); при поступлении в атмосферу продуктов расщепления (Sr^{90} , Ce^{144} , Ba^{140} , Zr^{95} и т. д.) или при образовании наведенной активности различных веществ. Таким образом, хотя операции, происходящие в ядерных реакторах, могут сопровождаться загрязнением атмосферы естественными радиоактивными элементами, главную опасность представляют собой радиоактивные изотопы, искусственно образованные в процессе расщепления и активации.

Первичные загрязнения вызваны радиоактивными веществами, которые образовались в процессе аварии, производственной деятельности, взрывов ядерных боеприпасов. Вторичные радиоактивные загрязнения определяются переходом радиоактивности с загрязненных объектов на чистые. Радионуклиды с загрязненных сооружений, транспорта и дорог могут переходить обратно в воздушную среду, а затем оседать, загрязнять незагрязненные, а также уже грязные объекты. Один и тот же объект может за счет вторичных процессов загрязняться несколько раз. В этих условиях вторичные загрязнения становятся многократными. Наиболее опасными источниками загрязнения являются выбросы радиоактивных веществ в атмосферу и распространение этих выбросов в виде аэрозольного облака.

Особенности образования радиоактивных аэрозолей влияют на поведение радиоактивных частиц, загрязнение объектов и эффективность дезактивации. Радиоактивные аэрозоли в атмосферном воздухе образуются в результате следующих процессов: диспергирования веществ, содержащих радиоактивные продукты; конденсации и десублимации паров радиоактивных веществ; адсорбции радионуклидов на атмосферных аэрозольных частицах; распада инертных газов с последующей их конденсацией, а также вследствие образования наведенной активности. Образование радиоактивных аэрозолей диспергированием происходит под действием взрыва, распыления жидкости или других процессов. Примерами источников образования радиоактивных аэрозолей диспергированием веществ являются работы по разгерметизации загрязненного оборудования, шлифовка облученных деталей и особенно сварочные работы. Необходимым условием конденсации паров радионуклидов является пересыщение и неравномерное их распределение в воздушной среде, а также присутствие ядер конденсации или зародышей. Одновременно с конденсацией, т. е. переходом пара в жидкость, при сильном охлаждении может происходить процесс десублимации, т. е. переход пара в твердое состояние, минуя жидкое. Газообразные радионуклиды, находящиеся в воздухе, могут адсорбироваться на неактивных аэрозольных частицах. Интенсивность адсорбции радионуклидов определяется большой удельной поверхностью неактивных аэрозолей. Удельная поверхность аэрозольных частиц диаметром 19 мкм составляет примерно $500 \text{ м}^2/\text{кг}$, и чем меньше размер аэрозольных частиц, тем больше его удельная поверхность.

Счетная концентрация V_t , которая характеризует число аэрозольных частиц в единице объема, в процессе образования радиоактивных частиц за время t изменяется следующим образом

$$V_\tau = V_0 [1 - \exp(-K_R \tau)] \quad (1)$$

где V_0 – начальная концентрация реактивных атмосферных аэрозолей, когда $t = 0$, м^{-3} ;

K_R – постоянная, характеризующая число осевших радионуклидов на поверхность частиц к их числу в воздухе.

Согласно зависимости (1), адсорбция радионуклидов и образование в результате этого радиоактивных аэрозолей определяется концентрацией неактивных аэрозольных частиц V_0 и временем процесса. Например, время адсорбции 50% радионуклидов ^{131}I , находящихся в воздушной среде на частицах диаметром 1 мкм, колеблется от 10^{-2} до 20^3 с при росте счетной концентрации с 10^2 до 10^{10} м^{-3} .

При радиоактивном распаде из газообразного ксенона образуются твердые аэрозольные частицы радионуклидов цезия, а из криптона – изотопы рубидия, которые сразу конденсируются в высоко дисперсные аэрозоли с диаметром капель 0,13-0,16 мкм.

Радионуклиды, образовавшиеся при активации ядер атомов атмосферного воздуха, участвуют в вышерассмотренных процессах аналогично.

Радиоактивные аэрозоли характеризуются широким диапазоном размеров частиц – от высокодисперсных, размером около 1 мкм, до грубодисперсных, имеющих размер сотни микрометров.

Количественно радиоактивные аэрозоли определяются удельной активностью, т. е. концентрацией радиоактивных веществ или активностью на единицу объема аэрозольной системы.

Активность отдельных частиц пропорциональна их размеру

$$A_r = K_{II} d^n \quad (2)$$

где d – диаметр частиц;

K_{II} – коэффициент пропорциональности, характерный для данного вида радиоактивных частиц;

n – параметр, зависящий от способа образования аэрозолей, $2 < n < 3$.

Если радиоактивная аэрозольная частица образовалась путем сорбирования радионуклидов, то $n \approx 2$, а если путем конденсации радионуклидов, то $n = 3$. На основании обобщения многочисленных данных установлено, что для радиоактивных аэрозолей наземных ядерных взрывов $n = 2,2$, а для топливных частиц аварийных выбросов $n = 3$.

Следует подчеркнуть, что размер, а также форма частиц являются важными параметрами радиоактивных аэрозолей, поскольку оказывают существенное влияние на загрязненность объектов и последующую эффективность дезактивации.

Среди радиоактивных аэрозольных частиц (активностью обычно меньше $5 \cdot 10^4$ Бк) встречаются так называемые «горячие» частицы, активность которых может достигать 10^6 Бк. Горячие частицы могут возникнуть при взрыве ядерных боеприпасов, при авариях на мощных гамма установках и ядерных реакторах, а также при повреждении оболочек твэлов при перегрузке ядерного топлива. В основном активность этих горячих частиц определялась такими нуклидами, как ^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{103}Ru , ^{95}Zr и ^{140}Ba .

Адсорбционным процессом радиоактивного загрязнения называют концентрирование веществ на поверхности раздела фаз. Вещество, на которое адсорбируется другое вещество, называют адсорбентом, а вещество, сконцентрированное на границе раздела фаз, – адсорбатом. При этом радионуклид может находиться в жидкой или газообразной среде. Адсорбция, как и адгезия, – самопроизвольный процесс, вызванный уменьшением поверхностной энергии (и поверхностного натяжения) на поверхности раздела фаз. Количественно адсорбция выражается избытком адсорбата в поверхностном слое по сравнению с его концентрацией в объемной фазе.

Это избыточное количество обозначается Γ_i и оно характеризует так называемую гиббсовую адсорбцию. Величина Γ_i показывает, насколько увеличилась концентрации радионуклида на поверхности по сравнению с его концентрацией в объеме и в отношении какого-либо радионуклида в смеси с другими выражается соотношением

$$\Gamma_i = \frac{n_i}{B} \quad (3)$$

или

$$\Gamma_i = \frac{n_i}{M} \quad (4)$$

где n_i – число молей какого-либо радионуклида (адсорбата);
 B и M – поверхность и масса адсорбента.

Основное уравнение адсорбции, названное уравнением Гиббса, можно представить в виде

$$\Gamma_i = - \frac{c}{RT} \frac{d\sigma}{dc}, \quad (5)$$

где c – концентрация адсорбируемого вещества;

$\frac{d\sigma}{dc}$ – изменение удельной поверхностной энергии (поверхностного натяжения) в зависимости от концентрации;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура, К.

Уравнение Гиббса связывает между собой основные параметры, характеризующие адсорбцию, – T , c , Γ и σ , оно определяет возможность протекания адсорбции как самопроизвольного процесса за счет снижения поверхностного натяжения. В зависимости от природы адсорбционных сил различают физическую и химическую адсорбцию. При этом химическую адсорбцию называют хемосорбцией. При физической адсорбции радиоактивные вещества сохраняют свою индивидуальность, и взаимодействие между радиоактивным веществом и адсорбентом осуществляется за счет межмолекулярных сил (сил Ван-дер-Ваальса). Поэтому физическая адсорбция обратима, практически не зависит от химического соединения радионуклида и уменьшается с ростом температуры. Теплота, выделяющаяся при физической адсорбции, составляет всего 10-40 кДж/моль, в то время как при хемосорбции она достигает 400 кДж/моль и более. В результате хемосорбции

молекулы или ионы радиоактивного вещества образуют с адсорбентом, т. е. с загрязненным объектом, поверхностные химические соединения, и, следовательно, хемосорбцию можно рассматривать как химическую реакцию на поверхности раздела фаз.

Таким образом, очистка воздушной среды от радиоактивных газов и аэрозолей, распыленных в атмосфере, осуществляется с использованием методов абсорбции растворами и на твердых сорбентах, а также методами фильтрации на тканях из тонковолокнистых полимеров.

Условия поглощения отравляющих и токсичных веществ, распыленных в атмосфере, при фильтрации этой воздушной среды

Загрязнение атмосферного воздуха непосредственно влияет на здоровье человека, а загрязнение атмосферы (на глобальном уровне) – лишь косвенно через климатические изменения, разрушение озонового экрана биосферы, кислотные дожди и др. Наиболее распространенные группы загрязнителей воздуха: атмосферные газы (окислы азота, серы, углерода, например, углекислый газ), углеводороды, фенолы, аэрозоли тяжелых металлов и другие органические и минеральные соединения. Аэрозоли – взвешенные в газообразной среде частички твердых или жидких веществ как органического, так и неорганического происхождения. Аэрозоли могут содержать сложные комплексы химических веществ, в том числе обладающих высокой степенью токсичности и представляющих опасность для здоровья человека и жизнестойкости растений.

Очень большую группу загрязнителей образуют углеводороды, в составе которых наиболее опасны для человека и животных хлор-, фтор-, азот-, фосфорсодержащие соединения, большинство из которых являются ядовитыми веществами и обладают канцерогенным действием, т.е. могут вызывать онкологические заболевания. В эту группу входят и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), среди которых наиболее опасны бензапирен и фенантрен, также вызывающие онкологические заболевания.

Наиболее значительный источник загрязнения воздуха – автотранспорт, поставляющий в атмосферу свинец, окись углерода и упоминаемые выше ПАУ. Принято считать, что в большинстве стран мира более половины загрязнения воздуха связано с работой автотранспорта. В среднем по территории стран бывшего Союза выхлопные газы автотранспортных средств определяют 40-45% загрязнения воздуха, но в городах они дают больше 50% загрязнения воздуха, причем в крупных городах (от 0,5 млн. до 1-1,5 млн. жителей) на их долю приходится 55-70%, а в очень крупных (несколько млн. жителей) городах – более 85% от общего объема загрязнения атмосферного воздуха.

Значительную долю загрязнения воздуха составляют также выбросы тепловых электростанций, содержащие окислы серы и азота, золу, тяжелые металлы, ПАУ, связанные со сжиганием топлива. Причем первенство здесь принадлежит электростанциям, работающим на угле, меньше всего выбросов дают станции, использующие природный газ.

Предприятия химической промышленности выбрасывают в атмосферу углеводороды, фенолы, органические фториды и хлориды, карбоновые кислоты, альдегиды, органические соединения серы, хлора, фтора, азота, двуокись серы, сероводород, окислы азота, соляную кислоту и другие кислоты, соединения фтора, тяжелые металлы, карбиды и др. Металлургические предприятия выбрасывают в воздух в больших объемах пыль, окислы серы, углерода и азота, фтористые газы и металлы. О составе этой пыли можно судить по тому факту, что из тонны пыли, выделяемой при плавке меди, можно извлечь около 100 кг меди и немного меньше цинка и свинца, известных своей токсичностью. Выбросы нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий содержат углеводороды, сероводород, дурно пахнущие газы (стирол, ацетон, толуол и др.).

Перечисленные выше химические вещества, присутствующие в атмосферном воздухе, оказывают воздействие не только на здоровье людей, которое будет

рассматриваться в следующем разделе, но и на состояние природной среды. Это воздействие в природных экосистемах многообразно и еще недостаточно изучено. Некоторые из атмосферных газов (например, окислы углерода) в небольших концентрациях могут оказывать благотворное действие на рост и развитие растений. Но большинство из загрязнителей, особенно в значительных концентрациях, могут угнетать деятельность биоты. Вредное действие на растения оказывает диоксид серы. Поступая внутрь листа, он угнетает их жизнедеятельность, листья сначала покрываются бурыми пятнами, а потом высыхают. Аналогичное воздействие на листовые породы деревьев оказывает и диоксид азота. Сажа, считающаяся не очень вредным для здоровья человека загрязнителем воздуха, забивая дыхательные устья хвойнок, приводит к гибели хвойные деревья. С выбросами сажи при сжигании мусора на свалках, экологи связывают усыхание лесов на некоторых территориях, расположенных в непосредственной близости.

Для очистки воздушной среды используются механические, физические, физико-химические методы.

Механические методы основаны на использовании сил тяжести, сил инерции, центробежных сил, диффузии, захвата и др. К этой группе методов относятся: инерционное пылеулавливание, мокрое пылеулавливание, фильтрация.

Инерционное пылеулавливание основано на том, что твердые частицы и капли выпадают из запыленного газового потока при резком изменении его направления. Наибольшее распространение получили инерционные пылеуловители, которые предназначены для улавливания крупных фракций пыли размером более 50 мкм, и циклоны, используемые для удаления золы из дымовых газов и сухой (древесной, асбоцементной, металлической) пыли с размером частиц 25-30 мкм из воздуха, ротационные пылеуловители, предназначенные для очистки воздуха рабочих помещений. Принцип действия циклона основан на использовании центробежной силы, возникающей при вращательно-поступательном движении газового потока. Центробежная сила отбрасывает частицы пыли к стенкам корпуса циклона, затем частицы пыли, стекая по стенкам, выпадают в бункер, а очищенный газ через расположенный по оси циклона выхлопной патрубок выбрасываются в атмосферу или поступают к потребителю. Циклоны составляют самую многочисленную группу аппаратуры – более 90 % от общего числа применяемых в промышленности пылеуловителей. Ими улавливается более 80 % от общей массы уловленной всеми аппаратами пыли.

Мокрое пылеулавливание основано на промывании запыленного газового потока жидкостью, подаваемой в виде брызг или тумана. Действие аппаратов мокрой очистки газов основано на захвате частиц пыли жидкостью, которая уносит их из аппаратов в виде шлама. Процессу улавливания пыли в мокрых пылеуловителях способствует конденсационный эффект – укрупнение частиц пыли за счет конденсации на них водяных паров. Поскольку в этих аппаратах процесс пылеочистки обычно сопровождается процессами абсорбции и охлаждения газов, они применяются и в качестве теплообменных аппаратов, и для очистки газообразных составляющих. Обычно в качестве орошающей жидкости, если не требуется химическая очистка, используется вода. Часто аппараты мокрой очистки газов используются в качестве предварительной ступени перед аппаратами других типов.

Фильтрация основана на пропускании запыленного газового потока через фильтрующий материал. Фильтрацию применяют для сверхтонкой очистки атмосферного воздуха от древесной, асбоцементной, абразивной пыли, золы, сажи, частиц металлов, их оксидов, ангидридов. В зависимости от фильтрующего материала, фильтры принято делить на тканевые, волокнистые, пористые и зернистые (из сыпучих материалов). В тканевых фильтрах используют не только ткани, но и нетканые материалы, такие как войлок или фетр. Фильтры из хлопчатобумажных тканей применяются для фильтрации нейтральных и щелочных газов при относительно невысокой температуре. В волокнистых фильтрах применяют набивные слои из натуральных или синтетических волокон,

шлаковаты, стружки металлов или полимерных материалов, а также сформированные слои (фильтровальная бумага, картон). Широкое распространение получили фильтры из синтетического и стеклянного волокна. Они обладают высокой термостойкостью и механической прочностью. Наиболее распространенными пылеулавливающими аппаратами, работающими по методу фильтрации. Это рукавные фильтры, которые представляют собой мешок, натянутый на трубчатую раму. Для очистки воздуха от туманов кислот, щелочей, масел и других жидкостей применяют волокнистые фильтры – туманоулавливатели улавливающие частицы размером менее 3 мкм, принцип действия которых основан на осаждении капель на поверхности волокон с последующим отеканием жидкости под действием сил тяжести. Эффективность очистки составляет 90-99 %.

Физические методы базируются на использовании электрических и электростатических полей, процессов охлаждения, конденсации и кристаллизации. Электростатическая очистка газов осуществляется в вертикальных и горизонтальных электрофильтрах, она основана на электризации загрязняющих частиц размером до 0,1 мкм и выделении их из газа под действием электрического поля (до 50 кВ), создаваемого специальными электродами.

Электрофильтры – одно- или двухсекционные аппараты прямоугольной формы. Корпуса аппаратов – стальные, покрытые снаружи теплоизоляцией. Активная зона электрофильтров состоит из специальных электродов (плоских полотен, набранных из пластинчатых элементов специального профиля, предназначенных для сбора осадка) и коронирующих электродов (трубчатых рам, в которых натянуты коронирующие элементы). Расстояние между соседними специальными электродами (300 мм) является также шириной единичного газового прохода. Удаление уловленной пыли с электродов – механическое, путем периодического встряхивания их ударами молотков

По способу удаления осаждающихся на электродах частиц различают сухие и мокрые электрофильтры. Сухие электрофильтры используются для удаления сухой пыли, а мокрые применяют для очистки газов от паров кислот: серной, соляной, азотной. Эффект очистки составляет 97-99 %.

Физико-химические методы основаны на физико-химических взаимодействиях загрязнителей с очищающими агентами. К таким методам относятся: абсорбция, адсорбция, хемосорбция, каталитический метод, термический метод.

Очистка воздуха абсорбционная - метод, основан, на способности жидкостей растворять газы. В процессе абсорбции участвуют две фазы – жидкая и газовая. При абсорбции происходит переход вещества из газовой в жидкую, при десорбции, наоборот, – из жидкой в газовую фазу. То есть, абсорбция – процесс избирательного поглощения газа жидкостью, а десорбция – процесс выделения газа из жидкости. Вещества, которые содержатся в газовой фазе и при абсорбции переходят в жидкую фазу, являются абсорбционным компонентом. Вещество, содержащееся в газовой фазе и при абсорбции не переходящее в жидкую фазу, называют газом-носителем, или инертным газом. Вещество, в котором происходит растворение абсорбируемых компонентов, принято называть растворителем, поглотителем, или абсорбентом. В качестве последнего используют воду, а также органические и неорганические растворители, которые не вступают в химическую реакцию с абсорбируемыми компонентами.

Различают физическую и химическую абсорбцию (хемосорбцию). Физическая абсорбция – процесс физического растворения абсорбируемого компонента в растворителе, не сопровождающийся химической реакцией. Абсорбция происходит в том случае, если парциальное давление абсорбируемого компонента в газовой среде больше равновесного парциального давления этого же компонента над данным раствором. Чем больше разница между этими давлениями, тем больше движущая сила процесса и тем с большей скоростью протекает абсорбция. Для многократного использования поглотитель подвергают регенерации. При хемосорбции абсорбируемый компонент вступает в химическую реакцию с поглотителем, образуя новые химические соединения в жидкой

фазе. Здесь возможно протекание обратимой и необратимой реакции. В обоих случаях равновесное парциальное давление абсорбтива значительно ниже его давления при физической абсорбции, поэтому хемосорбционные процессы при прочих равных условиях обеспечивают более полное извлечение компонентов из газовых смесей. Регенерацию абсорбентов при обратимых хемосорбционных процессах, проводят теми же методами, что и при физической абсорбции. Регенерацию поглотительных растворов, получаемых в необратимых хемосорбционных процессах, осуществляют химическими методами. В качестве абсорбентов в процессах хемосорбции используют водные растворы различных солей и органических растворителей.

Очистку воздуха абсорбционную применяют для очистки выбросов от диоксида серы и сероводорода. В первом случае абсорбцию осуществляют водой, известняковыми и известковыми методами, оксид гидроксидом магния, суспензией оксида цинка, хемосорбцией на основе натрия, абсорбцией растворами солей натрия, калия или аммония. Во втором в качестве абсорбентов используют мышьяково-содовый, мышьяково-поташный, содовый, поташный растворы, а также раствор цианамиды кальция, раствор соды и сульфата никеля, раствор фосфата кальция, аммиачный раствор и другие. Для очистки от сероуглерода и меркаптанов используют щелочные методы, от оксидов азота делают абсорбцию водой, щелочами, селективными абсорбентами, от фторсодержащих соединений - абсорбция водой, водными растворами щелочей, солей и некоторых суспензий. От хлора и его соединений используют абсорбцию водой, водными растворами щелочей и органических веществ, водными суспензиями и органическими растворителями. Очистку от оксидов углерода осуществляют посредством промывки газа жидким азотом или водно-аммиачными растворами закисных солей ацетата, формиата или карбоната меди.

Абсорбционные методы очистки газов подразделяют по абсорбируемому компоненту, по типу применяемого абсорбента, по конструктивным типам абсорберов. Кроме этого их разделяют по схеме процесса (с циркуляцией газа и без нее), по использованию абсорбента (с регенерацией и возвращением его в цикл – циклические, и без регенерации – нециклические), по использованию улавливаемых компонентов (с рекуперацией и без нее), по типу рекуперированного продукта, по организации процесса (периодические и непрерывные).

Каталитические методы газоочистки отличаются универсальностью. С их помощью можно освобождать газы от оксидов серы и азота, различных органических соединений, монооксида углерода и других токсичных примесей. Каталитические методы позволяют преобразовывать вредные примеси в безвредные, менее вредные и даже полезные. Они дают возможность перерабатывать многокомпонентные газы с малыми начальными концентрациями вредных примесей, добиваться высоких степеней очистки, вести процесс непрерывно, избегать образования вторичных загрязнителей. Применение каталитических методов чаще всего ограничивается трудностью поиска и изготовления пригодных для длительной эксплуатации и достаточно дешевых катализаторов. Гетерогенно-каталитическое превращение газообразных примесей осуществляют в реакторе, загруженном твердым катализатором в виде пористых гранул, колец, шариков или блоков со структурой, близкой к сотовой. Химическое превращение происходит на развитой внутренней поверхности катализаторов, достигающей $1000 \text{ м}^2/\text{г}$.

В качестве эффективных катализаторов, находящихся применение на практике, служат самые различные вещества – от минералов, которые используются почти без всякой предварительной обработки, и простых массивных металлов до сложных соединений заданного состава и строения. Обычно каталитическую активность проявляют твердые вещества с ионными или металлическими связями, обладающие сильными межатомными полями. Одно из основных требований, предъявляемых к катализатору – устойчивость его структуры в условиях реакции. Например, металлы не должны в процессе реакции превращаться в неактивные соединения.

Современные катализаторы обезвреживания характеризуются высокой активностью и селективностью, механической прочностью и устойчивостью к действию ядов и температур. Промышленные катализаторы, изготавливаемые в виде колец и блоков сотовой структуры, обладают малым гидродинамическим сопротивлением и высокой внешней удельной поверхностью.

Термические методы широко применяются для очистки отходящих газов от токсичных горючих соединений. Дожигание представляет собой метод обезвреживания газов путем термического окисления различных вредных веществ, главным образом органических, в практически безвредных или менее вредных, преимущественно CO_2 и H_2O . Обычные температуры дожигания для большинства соединений лежат в интервале 750-1200 °С. Применение термических методов дожигания позволяет достичь 99%-ной очистки газов. Разработанные в последние годы установки дожигания отличаются компактностью и низкими энергетическими затратами. Применение термических методов эффективно для дожигания пыли многокомпонентных и запыленных отходящих газов.

Таким образом, очистка воздушной среды от отравляющих, токсичных и других опасных веществ, распыленных в атмосфере, осуществляется с помощью механических, физических и физико-химических методов. Наиболее эффективными из них являются абсорбционные и каталитические методы, которые отличаются широким спектром поглощения опасных веществ. Большим диапазоном поглощения частиц с геометрическими размерами от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ м, универсальностью – возможностью перерабатывать многокомпонентные газы с малыми начальными концентрациями вредных примесей и минимальными энергетическими затратами на прокачку воздуха через очистительные установки.

Выводы

1. Очистка воздушной среды от радиоактивных газов и аэрозолей, распыленных в атмосфере, осуществляется с использованием методов абсорбции растворами и на твердых сорбентах, а также методами фильтрации на тканях из тонковолокнистых полимеров.

2. Очистка воздушной среды от отравляющих, токсичных и других опасных веществ, распыленных в атмосфере, осуществляется с помощью механических, физических и физико-химических методов. Наиболее эффективными из них являются абсорбционные и каталитические методы, которые отличаются широким спектром поглощения опасных веществ. Большим диапазоном поглощения частиц с геометрическими размерами от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ м, универсальностью – возможностью перерабатывать многокомпонентные газы с малыми начальными концентрациями вредных примесей и минимальными энергетическими затратами на прокачку воздуха через очистительные установки.

1. Методика специальной подготовки и тактико-специальных учений с невоенизированными формированиями гражданской обороны. – М.: Воениздат., 1985 – 82 с.

2. Биков І.В. Цивільна оборона. Черкаси: НДТУ, 2004. – 92 с.

3. Кулаков М.А. Цивільна оборона. Харків: НТУ-ХПІ, 2005. – 125 с.

4. Загрязнения атмосферного воздуха. Доступ: <http://ecology-education.ru/index.php?action=full&id=517>

5. Способы очистки атмосферного воздуха. Доступ: http://edu.dvgups.ru/METDOC/ENF/HIMIJ/EKOL/METOD/VREVOZDBIOSF/Murom_4.htm

6. Очистка воздуха абсорбционная. Доступ: <http://www.engineeringsystems.ru/o/ochistka - vozduha - absorbcionnaya.php>

7. Описание существующих методов очистки воздуха от вредных газообразных примесей. Доступ: http://www.air-cleaning.ru/d_method_rev.php

О.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дівізінюк, О.С. Рижкін
ПОГЛИНАННЯ РАДІОАКТИВНИХ, ОТРУЙНИХ І ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН,
РОЗПОРОШЕНИХ В АТМОСФЕРІ

У роботі проведена систематизація властивостей відомих в даний час радіоактивних, отруйних і токсичних речовин. Систематизовані знання про причини їх появи в атмосфері і методах їх нейтралізації при очищенні повітряного середовища.

E. Azarenko, Yu. Goncharenko, M. Diviziniuk, A. Ryzhkin
THE ABSORPTION OF RADIOACTIVE, TOXIC AND TOXIC SUBSTANCES,
SPRAYED INTO THE ATMOSPHERE

The paper made the systematization of the properties of the currently known radioactive, poisonous and toxic substances. Systematized knowledge about the causes of their appearance in the atmosphere and methods of their neytraliration with ambient air purification.

УДК 351.101

В.М. СТІЛЕЦЬ

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

РОЗРОБКА ОПЕРАТИВНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ПРОВЕДЕННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ ПЕРШИМ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИМ ПІДРОЗДІЛОМ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Розроблено оперативно-технічний метод скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій. Відповідно до нього обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт відбувається за результатами ранжування факторів за ступенем їх впливу на ефективність ліквідації надзвичайної ситуації в однофакторних моделях аварійно-рятувальних робіт. Ці моделі визначаються при стабілізації в загальній моделі, яку отримують за результатами імітаційного моделювання за обраним планом, інших факторів в центрі і на краях факторного простору.

Постановка проблеми. Ефективне проведення аварійно-рятувальних робіт (АРР) вимагає розробки комплексу оперативно-технічних заходів, реалізація яких забезпечить скорочення часу ліквідації надзвичайної ситуації (НС) при обмеженнях на людські і технічні ресурси, не знижуючи при цьому рівень безпеки рятувальників. В той же час, проведення АРР, пов'язаних з ліквідацією техногенних НС, першими ПРП ускладнюється тим, що: - основне пожежно-технічне озброєння і відповідні тактичні прийоми були розроблені в 60÷70-х роках двадцятого сторіччя, внаслідок чого вони не відповідають сучасним вимогам (наприклад, оперативний розрахунок автоцистерни складає 3-4 чоловіка, а його завдання були розроблені виходячи з чисельності в 6 чоловік); - Статут Дій [1] вимагає проведення АРР в метрополітені рятувальниками, які використовують регенеративні дихальні апарати, проте ПРП, що мають на озброєнні апарати на стисненому повітрі, прибувають до місця надзвичайної ситуації на 15-30 хвилин раніше; - засоби індивідуального захисту особового складу були розроблені для використання в умовах, які відповідають найгіршим умовам пожежі, тоді як умови в осередку НС з викидами небезпечних речовин на 1-2 порядки гірші; - нормативи для оцінювання рівня підготовленості особового складу не враховують місцеві особливості та специфіку об'єктів, до охорони яких залучаються ПРП); - в ПРП з'явилась нова техніка (аварійно-рятувальні автомобілі, автомобілі ГДЗС тощо), для якої відсутні рекомендації щодо підготовки рятувальників до її ефективного використання під час проведення АРР тощо. Враховуючи це, проблема невідповідності існуючого аварійно-рятувального озброєння в ПРП сучасним завданням, які стоять перед ним стосовно ліквідації техногенних НС, є актуальною і вимагає системних досліджень.

Аналіз останніх досягнень і публікацій показав, що процес ліквідації НС є предметом вивчення з різних сторін: – у більшості випадків його розглядають з позицій організації робіт з її ліквідації [2-5] або з позицій розвитку надзвичайної ситуації [6-8]; – рідше з позицій загальної теорії профілактики [9-10]. Проте системним дослідженням проблем забезпечення ефективності проведення АРР на локальному рівні та їх теоретичному узагальненню приділяється явно недостатньо уваги, що створює певні «білі плями» у безперервному ланцюгу вдосконалення АРР в умовах техногенних НС.

З комплексних позицій АРР як процес функціонування складної людино-машинної системи розглядався в [11-13]. Там відзначено, що для об'єктивної оцінки такого процесу необхідно проаналізувати велику кількість взаємозалежних проміжних робіт, які

забезпечують ліквідацію НС, евакуацію та рятування (при необхідності) постраждалих. І зробити це можна за допомогою відповідної імітаційної моделі. Проте розроблені імітаційні моделі використовувались для розробки пропозицій тільки за одним із обраних факторів, який міг бути або таким, що стосується особового складу (і його можна розглядати в більшій, чи меншій мірі оперативним), або аварійно-рятувального озброєння ПРП (і в цьому випадку його можна розглядати у якості технічного).

Постановка задачі та її розв'язання. У зв'язку з цим необхідно розробити оперативно-технічний метод, який базується на результатах імітаційного моделювання, скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій.

У відповідності до методології імітаційного моделювання [14] обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення АРР ПРП повинно спиратися на аналіз закономірностей здійснення цього процесу, які мають бути отриманими за результатами оцінки того, як функціонує система «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація» (СРЗЗНС). При цьому у якості вихідних перемінних виступають показники, що характеризують безпосередньо рятувальників (множина $X_{\text{РЯТ}}$), аварійно рятувальне обладнання (множина $X_{\text{АРО}}$), місце проведення АРР (множина $X_{\text{М}}$) та надзвичайну ситуацію (множина $X_{\text{НС}}$). Враховуючи те, що вихідні дані розглядаються на момент виникнення НС, можна вважати – в кожній множині відсутні спільні перемінні і, відповідно, вони є такими, які не перетинаються,

$$X = X_{\text{РЯТ}} \cup X_{\text{АРО}} \cup X_{\text{М}} \cup X_{\text{НС}}. \quad (1)$$

Крім того, в нормативно-довідковій літературі, якою користуються в ПРП, визначається порядок ліквідації (локалізації) НС, який уявляє собою множину варіантів проведення АРР ПРП

$$Q = \langle \{Q_m\}; m = 1, \dots, n_m; \varphi_1 : K_m \times X \rightarrow Q_m \rangle, \quad (2)$$

де Q_m – m -ий варіант проведення АРР; n_m – кількість варіантів бойової роботи; K_m – множина, яка впорядковує правила організації СРЗЗНС таким чином, щоб при вихідних показниках X отримати m -ий алгоритм ліквідації (локалізації) НС; φ_1 – відображення $K_m \times X$ в множину Q .

В процесі функціонування СРЗЗНС під час виконання окремих складових (наприклад, операцій), які забезпечують проведення АРР ПРП для обраного варіанту Q^* , на інтервалі T має місце множина ефектів

$$G^* = \langle \{G_k^*\}; k = 1, \dots, n_k; \varphi_2 : Z_k \times Q^* \times T \rightarrow G_k^* \rangle, \quad (3)$$

де G_k^* – ефект від виконання k -ої складової обраного варіанту проведення АРР ПРП; n_k – кількість складових для Q^* ; Z_k – множина, яка впорядковує зв'язки між елементами множини Q^* та результатами виконання окремих складових процесу проведення АРР ПРП; φ_2 – відображення $Z \times Q^* \times T$ в множину G^* (визначення ефектів).

Відображення φ_2 фактично уявляє собою процес визначення ефектів від реалізації конкретних складових обраного варіанту проведення АРР ПРП. Такі ефекти можуть бути отримані як після натурних досліджень, і тоді реалізація Z_k уявляє собою методику отримання емпіричних даних, так і в результаті використання попередньо визначених функціональних залежностей

$$G_k^* = F_k^*(X, T), \quad (4)$$

яка фактично є закономірністю виконання рятувальниками k -ої складової обраного процесу проведення АРР.

Якщо окремі властивості СРЗЗНС, у тому разі множина G , є частковими характеристиками системи, то ефективність системи є нормованим до вихідних перемінних X результатом функціонування СРЗЗНС на певному інтервалі часу, тобто ефективність проведення обраного варіанту АРР ПРП за умови визначення множини G (наприклад, в результаті використання закономірностей виконання рятувальниками окремих складових процесу проведення АРР) представляє собою впорядковану множину

$$Y^* = \left\langle \{Y_q^*\}; q = 1, \dots, n_q; Y_1^* > Y_2^* > \dots > Y_{n_q}^*; \varphi_3 : H_q^* \times X \times G^* \rightarrow Y_q^* \right\rangle, \quad (5)$$

де Y_q^* – q -ий показник ефективності; n_q – кількість показників ефективності; H_q^* – множина (наприклад, імітаційна модель або тактико-спеціальне навчання), яка встановлює зв'язок між вихідними даними X та результатами G виконання окремих складових за обраним варіантом проведення АРР ПРП; φ_3 – відображення $H_q^* \times X \times G^*$ в множину Y^* (наприклад, визначення показників ефективності в результаті імітаційного моделювання АРР ПРП).

Оскільки у виразі (5) враховуються як технічні ($X_{АРО}$), так і оперативні ($X_{РЯТ}$, X_M , $X_{НС}$, Q) складові функціонування СРЗЗНС, то множина Y відображає оперативнотехнічний характер проведення АРР ПРП і може розглядатись як закономірність проведення АРР ПРП

$$Y^* = F^*(X), \quad (6)$$

за обраним варіантом, оскільки являє собою закономірність, яка відображає функціонування даної системи, встановлюючи об'єктивний, повторюваний за певних умов зв'язок між показниками якості системи і властивими їй ефектами.

Виходячи з цього, цілями оцінки процесу проведення АРР ПРП, яка спирається на імітаційні моделі її функціонування, є встановлення причинно-наслідкових зв'язків діяльності рятувальників з результатами функціонування СРЗЗНС; розкриття закономірностей виконання рятувальниками типових складових процесу проведення АРР ПРП; визначення закономірностей проведення АРР ПРП від оперативних та технічних складових, що характеризують СРЗЗНС; уточнення на основі функціональної залежності таких правил організації СРЗЗНС, при яких буде перевищено визначене значення показника ефективності.

Впорядкованість множини Y дозволяє перейти від (6) до багатofакторної поліноміальної моделі [15], розробка якої спирається на відповідний план імітаційного експерименту, при виборі якого необхідно враховувати те, що вихідні показники можуть мати нелінійний вплив на показники ефективності проведення АРР ПРП.

Так, наприклад, підвищення рівня спеціальної витривалості газодимозахисників буде більш сильно впливати на час виконання поставленого завдання при переході від початкового рівня підготовленості до середнього, ніж від середнього до високого. Або, підвищення рівня практичної виучки як особового складу ПРП, так і персоналу метрополітену буде більш сильно впливати на час ліквідації НС в метрополітені при переході від початкового рівня підготовленості до середнього, ніж від середнього до високого. Аналогічна ситуація має місце й під час порівняння того, як швидко виконуються окремі операції в комплексі засобів індивідуального захисту (КЗІЗ), в яких ізолюючий апарат знаходиться всередині костюма, та коли використовується комбінація,

при якій ізолюючий апарат знаходиться ззовні костюму, або ж особовий склад працює в КЗІЗ, що включають до свого складу фільтрувальні протигази. Нелінійний вплив факторів в поліноміальній моделі можна врахувати їх квадратичним уявленням.

При цьому є очевидним взаємозв'язок між інтенсивністю викиду небезпечної хімічної речовини (НХР) та комбінацією засобів індивідуального захисту рятувальників. Крім того, можна передбачити й інші взаємозв'язки між факторами. Наприклад, що підготовленість рятувальників сильніше буде проявлятися під час роботи в більш складних умовах. Або, при швидких та правильних діях співробітників метрополітену аналогічні дії особового складу ПРП буде проявлятися слабкіше, та навпаки. Схожа ситуація має місце й зі ступенем реалізації нормативно-технічних вимог – чим більше вони задоволені, тим менше будуть працювати рятувальники. В поліноміальній моделі ефекти взаємодії можуть бути враховані відповідними коефіцієнтами при добутках факторів, що розглядаються.

З урахуванням вищевикладеного поліноміальна модель проведення АРР ПРП в загальному випадку має вид

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_n X_n + a_{11} X_1^2 + \dots + a_{nn} X_n^2 + a_{12} X_1 X_2 + \dots + a_{(n-1)n} X_{n-1} X_n, \quad (7)$$

де X_1, \dots, X_n – обрані для дослідження фактори, які конкретизують вихідні перемінні.

З урахуванням того, що порівняльна оцінка впливу факторів, що обрані для розгляду, має виконуватись в тотожному (7) виразу в нормованих перемінних [16]

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n + b_{11} x_1^2 + \dots + b_{nn} x_n^2 + b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{(n-1)n} x_{n-1} x_n. \quad (8)$$

В цьому випадку постановка завдання обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності функціонування СРЗЗНС конкретизується в задачу ранжування факторів x_i за ступенем їх впливу на ефективність проведення

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n + b_{11} x_1^2 + \dots + b_{nn} x_n^2 + b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{(n-1)n} x_{n-1} x_n$$

$$\Downarrow$$

$$\left(x_{i \in (1, n)}^{(1)} \geq x_{j \in (1, n; j \neq i)}^{(2)} \geq \dots \geq x_{\gamma \in (1, n; \gamma \neq i \neq \dots \neq j)}^{(n)} \right). \quad (9)$$

Це можна здійснити шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей $y = f_i(x_i)$, отриманих при стабілізації інших $x_{j \neq i}$ факторів [17].

Наявність масиву даних щодо часу проведення АРР ПРП, який може бути отриманим у відповідності до обраного плану проведення імітаційного експерименту, дозволяє визначити залежність $Y = [F\{X\}]$ у вигляді (7) і перейти до визначення оперативно-технічних рекомендацій шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей $y = f_i(x_i)$, отриманих при стабілізації інших $x_{j \neq i}$ факторів.

Проте, однофакторні моделі, визначені на рівнях, що відповідають координатам екстремумів y_{\min} та y_{\max} ,

$$\left\{ \begin{array}{l} y_{\min}(x_1) = f(x_1; x_2 = -1; \dots; x_n = -1) = \\ \quad = b_{0y_{\min}(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1) + b_{y_{\min}(x_1)} \cdot x_1; \\ \dots \\ y_{\min}(x_n) = f(x_n; x_1 = -1; \dots; x_{n-1} = -1) = \\ \quad = b_{0y_{\min}(x_n)}(x_1 = -1; \dots; x_{n-1} = -1) + b_{y_{\min}(x_n)} \cdot x_n, \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y_{\max}(x_1) = f(x_1; x_2 = +1; \dots; x_n = +1) = \\ \quad = b_{0y_{\max}(x_1)}(x_2 = +1; \dots; x_n = +1) + b_{y_{\max}(x_1)} \cdot x_1; \\ \dots \\ y_{\max}(x_n) = f(x_n; x_1 = +1; \dots; x_{n-1} = +1) = \\ \quad = b_{0y_{\max}(x_n)}(x_1 = +1; \dots; x_{n-1} = +1) + b_{y_{\max}(x_n)} \cdot x_n, \end{array} \right. \quad (11)$$

а також в центрі факторного простору

$$\left\{ \begin{array}{l} y_0(x_1) = f(x_1; x_2 = 0; \dots; x_n = 0) = \\ \quad = b_{0y_0(x_1)}(x_2 = 0; \dots; x_n = 0) + b_{y_0(x_1)} \cdot x_1; \\ \dots \\ y_{\min}(x_n) = f(x_n; x_1 = 0; \dots; x_{n-1} = 0) = \\ \quad = b_{0y_0(x_n)}(x_1 = 0; \dots; x_{n-1} = 0) + b_{y_0(x_n)} \cdot x_n, \end{array} \right. \quad (12)$$

можуть відрізнятися. І в цьому випадку

$$\left\{ \begin{array}{l} b_{0y_{\max}(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1) \neq b_{0y_0(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1); \\ \dots \\ b_{0y_0(x_n)}(x_1 = +1; \dots; x_{n-1} = +1) \neq b_{0y_{\min}(x_1)}(x_1 = +1; \dots; x_{n-1} = +1); \\ b_{y_{\max}(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1) \neq b_{y_0(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1); \\ \dots \\ b_{y_0(x_1)}(x_2 = +1; \dots; x_n = +1) \neq b_{y_{\min}(x_1)}(x_2 = +1; \dots; x_n = +1). \end{array} \right. \quad (13)$$

Відповідно, обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення АРР ПРП доцільно здійснювати за максимальними перепадами Δy в (11)÷(13). Тобто, пропозиції для центра факторного простору, що будуть отримані за результатами аналізу (13), та для його країв (отримуються за результатами аналізу (11) та (12)) можуть відрізнятися.

Для визначення того, які вихідні чинники з множини X вимагають першочергової уваги в центрі факторного простору $(x_0^{(1)})$ та на його краях $(x_{\min}^{(1)}; x_{\max}^{(1)})$ необхідно проранжувати у відповідності з вагою коефіцієнтів при відповідній змінній в (7)÷(9) в центрі факторного простору

$$(x_0^{(1)} \geq x_0^{(2)} \geq \dots \geq x_0^{(n-1)} \geq x_0^{(n)}) = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} |b_{y_0(x_1)}| \\ \dots \\ |b_{y_0(x_n)}| \end{array} \right\} \quad (14)$$

та на його краях

$$\left(x_{\min(\max)}^{(1)} \geq x_{\min(\max)}^{(2)} \geq \dots \geq x_{\min(\max)}^{(n-1)} \geq x_{\min(\max)}^{(n)} \right) = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} \left| b_{y_{\min(\max)}(x_1)} \right| \\ \dots \\ \left| b_{y_{\min(\max)}(x_n)} \right| \end{array} \right\}. \quad (15)$$

Оскільки обґрунтування пропозицій в цьому випадку базується на (6), де враховано вплив не тільки безпосередньо (у тому разі нелінійний) кожного окремого показника x_i , але й ефекти взаємодії з іншими показниками $x_j (j \neq i)$, то вони (пропозиції) мають оперативно-технічний характер.

Тобто, обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт пожежно-рятувальним підрозділом відбувається у відповідності до результатів ранжування факторів за ступенем їх впливу на ефективність ліквідації надзвичайної ситуації шляхом аналізу однофакторних моделей, отриманих при стабілізації в загальній моделі, що визначається за результатами імітаційного моделювання за обраним планом, інших факторів в центрі та на краях факторного простору.

При відборі основних факторів для детального дослідження та виборі плану імітаційного експерименту доцільно враховувати побажання експертів, які залучаються до аналізу закономірності проведення АРР ПРП, не розглядати одночасно більше трьох факторів [17]. Це вони пояснюють тим, що вплив більшої кількості факторів, які впливають на СРЗЗНС оцінити складно, оскільки її стан постійно та достатньо швидко змінюється. З урахуванням цього та результатів аналізу особливостей проведення АРР ПРП, наведених в [18], для процесу ліквідації НС з викидами НХР, наприклад, виділені такі значимі фактори: x_1 – приведена інтенсивність ψ викиду НХР; x_2 – підготовленість особового складу; x_3 – комбінація засобів індивідуального захисту рятувальників, в якій будуть працювати рятувальники. Крім цього експерти також вказали на доцільність оцінки впливу обраних факторів, коли вони міняються на двох рівних інтервалах.

Аналіз відібраних факторів показує, що можна очікувати їх нелінійний вплив на загальний час проведення АРР ПРП при локалізації НС з викидом НХР. Так, стосовно приведеної інтенсивності ψ викиду НХР (x_1) в [6] відмічено, що при $\psi = 1 \frac{\text{кг/с}}{\text{мг/м}^3} (x_1 = -1)$ всі операції повинні виконуватись особовим складом в комплексі засобів індивідуального захисту, який передбачає обов'язкову наявність ізолюючого апарату всередині ізолюючого костюму; при $\psi = 0,1 \frac{\text{кг/с}}{\text{мг/м}^3} (x_1 = 0)$ – обов'язкова наявність ізолюючого апарату, який може бути й поверх ізолюючого костюму; при $\psi = 0,01 \frac{\text{кг/с}}{\text{мг/м}^3} (x_1 = +1)$ – рятувальники можуть бути в фільтрувальних протигазах. Можна передбачати, що фактор x_1 на час проведення АРР буде впливати нелінійно.

В [19] зазначено, що час виконання окремих операцій в залежності від рівня підготовленості рятувальників змінюється за експоненціальним законом, тобто рівень практичної виучки буде сильніше позначатися на часі розглянутого процесу при переході від початкового рівня підготовленості ($x_2 = -1$) до середнього ($x_2 = 0$), ніж від середнього до високого ($x_2 = +1$). Аналогічна ситуація має місце і при порівнянні того, як швидко виконуються окремі операції в КЗІЗ першого типу, коли ізолюючий апарат знаходиться всередині костюма ($x_3 = -1$), в порівнянні з тими, коли використовується комбінація, при якій ізолюючий апарат знаходиться зовні костюма ($x_3 = 0$), або ж особовий склад працює в комбінації ізолюючого костюма з фільтруючим протигазом ($x_3 = +1$).

При цьому є очевидним взаємозв'язок між інтенсивністю викиду НХР та комбінацією засобів індивідуального захисту рятувальників. Крім того, можна передбачити й інші взаємозв'язки між факторами. Наприклад, що підготовленість рятувальників більш сильно проявляється під час роботи в більш складних умовах. В поліноміальній моделі (8) нелінійний вплив факторів можна врахувати їх квадратичним уявленням, а ефекти взаємодії – відповідними коефіцієнтами при добутках факторів, що розглядаються.

Аналогічна ситуація має місце й під час проведення АРР першим ПРП при НС в метрополітені. Так, при виборі плану імітаційного експерименту, за результатами якого передбачається розробити оперативно-технічні рекомендації щодо підвищення ефективності АРР на станціях метрополітену глибокого залягання, як і в ситуації з аналізом дій ПРП під час ліквідації НС з викидом НХР, необхідно враховувати, що не доцільно розглядати одночасно більше трьох факторів. При цьому останні в процесі імітаційного експерименту будуть мінятися на двох рівних інтервалах. Враховуючи результати аналізу особливостей проведення АРР на станціях метрополітену [17], для детального аналізу можна вибрати наступні фактори, які будуть розглядатись експертами в нормованому вигляді: u_1 – підготовленість ПРП; u_2 – підготовленість співробітників метрополітену; u_3 – ступінь реалізації на станції вимог нормативних документів до техногенної та пожежної безпеки [20].

Аналіз цих факторів показує, що слід враховувати їх нелінійний вплив на ефективність проведення АРР на станції. Можна очікувати, що підвищення рівня підготовленості пожежних першого ПРП та співробітників метро від початкового рівня ($u_1 = -1$; $u_2 = -1$), який відповідає навичкам та знанням після первинної підготовки та отримання допуску на проведення самостійної роботи, до середнього ($u_1 = 0$; $u_2 = 0$), який відповідає підготовленості більшості задіяних в проведенні АРР, що мають кількарічний досвід, вплине сильніше на скорочення часу проведення АРР на станціях метрополітену, ніж перехід від середнього рівня підготовленості до високого ($u_1 = +1$; $u_2 = +1$), який відповідає рівню підготовленості висококваліфікованих фахівців.

Аналогічну ситуацію можна очікувати і по відношенню до того, наскільки станція метрополітену відповідає нормативним вимогам ($u_3 = -1$ – на станції є порушення, відмічені в Приписах Держпожнадзора або Держпраці, усунення яких вимагає капіталомістких робіт; $u_3 = 0$ – є порушення, які мають некритичний характер і мають бути усуненими в робочому порядку; $u_3 = +1$ – порушень практично нема), оскільки для низького рівня ($u_3 = -1$) характерними є порушення, що пов'язані зі шляхами евакуації та з джерелами виникнення НС, у тому разі установка підвищеної небезпеки, а для порушень середнього рівня ($u_3 = 0$) – з можливими несправностями обладнання станції та їх несуттєвими недоліками. Як і для високого рівня ($u_3 = +1$), при середньому рівні відповідності шляхи евакуації забезпечують нормативний час виходу людей на поверхню.

Ефекти від впливу обраних факторів взаємодіють між собою. Це може сказатися на часі проведення АРР на станції метрополітену. Так, якщо співробітники метрополітену евакуювали всіх пасажирів, то пожежні першого ПРП рятувальні роботи проводити не будуть. Якщо під час евакуації пасажирів персонал станції діяв правильно, то навіть ті потерпілі, які вимагають рятування, знаходяться в таких місцях (як правило, на шляхах евакуації), що їх пошук не буде викликати особливих затруднень у газодимозахисників. Аналогічна ситуація може мати місце і в тому, як ступінь відповідності станції нормативним вимогам вплине на час проведення АРР ПРП, оскільки наявність порушень правил пожежної безпеки, пов'язаних із підтриманням в належному стані шляхів евакуації, може суттєво збільшити час рятувальної операції.

Як і у випадку моделі ліквідації НС з викидами НХР першим ПРП, нелінійний вплив факторів є можливим відобразити їх квадратичним уявленням, а ефекти взаємодії між факторами – відповідними коефіцієнтами при добутках обраних факторів.

Тобто, математична модель залежності часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій має вид

$$y(x) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_2 \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_3 \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_3^2 \quad (16)$$

Виходячи з вищевикладеного, доцільно обрати план імітаційного експерименту $3 \times 3 \times 3$ – традиційний план техніко-економічних експериментів, який використовується при дослідженні впливу окремо кожного з трьох факторів на трьох рівнях (при інших рівних умовах) і має гарні статистичні характеристики та кращі по точності оцінки всіх коефіцієнтів регресії $\{k_s\}$ [16].

При проведенні багатфакторного імітаційного моделювання у відповідності до обраного плану найгірші показники відповідають рівню $"-1-1-1"$, середні – рівню $"0 \ 0 \ 0"$, а найкращі – $"+1+1+1"$.

Зміна відібраних факторів на трьох рівнях через рівні інтервали дозволяє суттєво спростити побудову поліноміальних моделей, які необхідно знайти, оскільки в результаті цього під час розрахунку оцінок коефіцієнтів b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} та значень дисперсій оцінок отриманих коефіцієнтів можна використовувати готові формули [16].

Інтерпретація отриманої моделі (16) доцільно проводити при наростаючому ступені ризику відвернути правильну гіпотезу [17]. Значимість коефіцієнтів регресії за цим методом перевіряється багатократно від рівня значимості $\alpha = 0,01$ до $\alpha = 0,5$, враховуючи під час оцінки похибок розрахунку коефіцієнтів регресії середню дисперсію вимірів.

При кожному рівні ризику будується граф зв'язку між факторами. Найбільш достовірним будуть висновки, що здійснюються за графом, який відповідає рівню значимості $\alpha = 0,01$. По графу, що відповідає рівню значимості $\alpha = 0,5$, робиться обережний «рівно можливий» висновок, який може бути корисним на стадії початку пошукових робіт.

Прийом для аналізу двостороннього ризику $\alpha = 0,2$, оскільки розробку оперативних рекомендацій можна віднести до пошукових робіт, дозволяє вилучити незначні ефекти. Це дозволить спростити для аналізу кінцеву модель (16) та перейти до ранжування по максимальному перепаду Δy в однофакторних моделях $y = f_i(x_i)$, що одержані при стабілізації інших факторів x_i на рівнях, що відповідають координатам екстремумів y_{\min} та y_{\max} , а також в центрі факторного простору (табл. 1).

Аналіз ваги коефіцієнтів в однофакторних моделях (табл. 1) у відповідності до (14) та (15) дозволить провести ранжування обраних факторів та визначити, який з них є найбільш вагомим та навпаки у кожній зоні. Ці висновки стануть основою конкретних оперативно-технічних рекомендацій, оскільки обрані фактори характеризують як технічну (фактор x_3), так і оперативну складові: роботу особового складу (людський фактор x_2) ПРП під час ліквідації НС в умовах впливу НХР (фактор навколишнього середовища x_1). Або роботу особового складу першого ПРП (фактор u_1) та персоналу метрополітену (фактор u_2) як оперативної складової, та рівня відповідності станції нормативним вимогам (фактор u_3) як технічної складової.

Для оцінки того, чи доцільно ці рекомендації впроваджувати в практичну діяльність, необхідно перевірити, наскільки значимо будуть відрізнятися обрані показники ефективності проведення АРР (час рятування потерпілого першим ПРП, час попереднього бойового розгортання першого ПРП, час локалізації Н з викидами НХР тощо), отримані до і після впровадження рекомендацій. З цією метою необхідно спочатку

визначити як зміняться закономірності (4) виконання рятувальниками k-ої складової СРЗЗНС

$$G_{k'}' = F_{k'}'(X - \Delta X, T), \quad (17)$$

де ΔX – зміни у множині вихідних перемінних (3.1) за визначеними після аналізу результатів ранжування в різних зонах рекомендацій, у тому разі пов'язаних із можливою ситуацією зміни початкового варіанту k проведення АРР.

Таблиця 1. Однофакторні моделі $y = f_1(x_i)$ при різних умовах стабілізації

	В зоні максимуму	В центрі факторного простору	В зоні мінімуму
1	2	3	4
x1	$y = (b_0 - b_2 - b_3 + b_{22} + b_{33}) + (b_1 - b_{12} - b_{13}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$	$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$	$y = (b_0 + b_2 + b_3 + b_{22} + b_{33}) + (b_1 + b_{12} + b_{13}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$
x2	$y = (b_0 - b_1 - b_3 + b_{11} + b_{33}) + (b_2 - b_{12} - b_{23}) \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_{22}^2$	$y = b_0 + b_2 \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_{22}^2$	$y = (b_0 + b_1 + b_3 + b_{11} + b_{33}) + (b_2 + b_{12} + b_{23}) \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_{22}^2$
x3	$y = (b_0 - b_1 - b_2 + b_{11} + b_{22}) + (b_3 - b_{13} - b_{23}) \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_{33}^2$	$y = b_0 + b_3 \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_{33}^2$	$y = (b_0 + b_1 + b_2 + b_{11} + b_{22}) + (b_3 + b_{13} + b_{23}) \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_{33}^2$

Оскільки визначення (17) відбувається як етап прогнозу порівняльної оцінки, його здійснення можливе шляхом використання методу безпосередніх експертних оцінок. Наявність (17) дозволить знову провести імітаційне моделювання АРР першим ПРП за вихідними даними, які будуть відкоригованими стосовно первинних у відповідності до розроблених оперативно-технічних рекомендацій. В результаті будуть отримані нові моделі, порівняння яких в натуральному вигляді з відповідними, що були отримані за первісними вихідними даними, дозволить оцінити наскільки ефект від впровадження буде значимим. У відповідності до цього розроблені пропозиції і будуть рекомендуватись для впровадження в остаточному вигляді.

Висновок.

Оперативно-технічний метод скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій полягає в розробці оперативно-технічних рекомендацій у відповідності до максимальних перепадів в однофакторних моделях, які

одержані на рівнях, що відповідають координатам екстремумів, а також в центрі факторного простору багатофакторної поліноміальної моделі, отриманої за результатами імітаційного моделювання у відповідності до традиційного плану техніко-економічних експериментів 3х3х3. Ця модель відображає залежність часу проведення аварійно-рятувальних робіт від факторів, які характеризують оперативні та технічні складові загального процесу ліквідації надзвичайної ситуації.

1. Наказ МНС України від 13.03.2012 № 575 «Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 травня 2012 року за № 835/21147.
2. Реагування на виникнення надзвичайних ситуацій / за ред. С.О. Гур'єва / ІДУСЦЗ НУЦЗУ; УНПЦ ЕМД та МК. – Вінниця, 2010. – 412 с.
3. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В.А., Лукьянченков А.Г., Павлов К.Н. и др.]; под ред. В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
4. Михно Е.П. Ликвидация последствий аварий и стихийных бедствий / Михно Е.П. – М.: Атомиздат, 1979. – 412 с.
5. Collision of Norfolk Southern Freight Train 192 With Standing Norfolk Southern Local Train P22 With Subsequent Hazardous Materials Release at Graniteville, South Carolina January 6, 2005. Режим доступу: <http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/RAR0504.pdf>
6. Басманов А.Е. Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков, М.В. Васильев // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2011. – № 13. – С. 20-33.
7. Акимов В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радаев. – М.: ЗАО ФИД, 2001. – 344 с.
8. 25 Biggest Man Made Environmental Disasters In History. Режим доступу: <http://list25.com/25-biggest-man-made-environmental-disasters-in-history/1/>
9. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. Учебник. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
10. Семенов А.О. Совершенствование системы управления пожарно-спасательными подразделениями при ликвидации крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций: диссертация, канд.техн.наук: 05.13.10.– Москва, 2006.– 161 с.
11. Абрамов Ю.А. Методика эргономической оценки деятельности боевых расчетов пожарных автомобилей / Ю.А. Абрамов, В.Н. Чучковский, П.А. Ковалев, В.М. Стрелец // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. – 1998. – Вып. 4 – С.3-5.
12. Бондарев В.Ф., Семенов В.В. Имитационное моделирование боевых действий по тушению пожаров на электроподстанциях метрополитена // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО, 1989. – С. 44-59.
13. Подгрушный А.В. Исследования по спасанию людей из зданий повышенной этажности при пожарах./ А.В. Подгрушный, Ч.Д. Хонг// Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – Том 16(4). – С.66-68
14. Стрелец В.М. Имитационный анализ системы «человек-машина» как метод эргономической оценки функционирования аварийных служб / В.М. Стрелец // Радиоэлектроника и информатика. – 2001. – № 3 (16) – С. 125-128.
15. Стрелец В.М. Развитие метода имитационной эргономической оценки функционирования системы «спасатель – средства защиты личного состава и ликвидации аварии – чрезвычайная ситуация»/ В.М. Стрелец // Вестник Кокшетауского технического института. – Кокшетау. – 2014. – № 4 (16). – С.19-26.
16. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

17. Стрілець В.М. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: моногр. / В.М. Стрілець, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха; НУЦЗУ. – Х.: НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2012. – 112 с.

18. Васильєв М.В. Аналіз герметичності комплексу засобів індивідуального захисту першого типу / М.В. Васильєв, В.М. Стрілець, В.В. Коврегін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – № 11. – С.29-38

19. 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. – 2013. – № 2. – С. 81-86.

20. Стрелец В.М. Метод имитационного эргономического анализа закономерностей, характеризующих отдельные этапы функционирования системы «спасатель – чрезвычайная ситуация в метрополитене – средства защиты и ликвидации аварии» / В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич // Информационное обеспечение и АСУ на железнодорожном транспорте: сб. научн. тр. – Харьков: ХГАЖТ, 2008. – Вып.21. – С.140-145.

В.М. Стрелец

РАЗРАБОТКА ОПЕРАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕТОДА СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПЕРВЫМ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Разработан оперативно-технический метод сокращения времени проведения аварийно-спасательных работ первым пожарно-спасательным подразделением в условиях техногенных чрезвычайных ситуаций. В соответствии с ним обоснование предложений по повышению эффективности проведения аварийно-спасательных работ происходит по результатам ранжирования факторов по степени их влияния на эффективность ликвидации чрезвычайной ситуации в однофакторных моделях аварийно-спасательных работ. Эти модели получают при стабилизации в общей модели, определенной в результате имитационного моделирования по выбранному плану, других факторов в центре и на краях факторного пространства.

V.M. Strelec

THE DEVELOPMENT OF OPERATIONAL AND TECHNICAL METHOD OF REDUCING THE TIME OF THE RESCUE THE FIRST FIRE AND RESCUE UNITS IN THE CONDITIONS OF TECHNOGENIC EMERGENCIES

It develops operational and technical method of reducing the time of the rescue the first fire and rescue units in terms of man-made emergencies. In accordance with this rationale of proposals to improve the effectiveness of rescue operations going on the results of ranking factors on the degree of their impact on the effectiveness of emergency response in univariate models rescue. These models are obtained by the stabilization in the general model defined as a result of the simulation for the selected plan, other factors in the center and on the edges of the factor space.

УДК 504.064; 351.861

М.В. КУСТОВ, В.Д. КАЛУГИН

Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков

СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ

Разработана комплексная система обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы на основе современных методов искусственного осадкообразования. Система состоит из трех основных подсистем: мониторинга, поддержки принятия решения и исполнения решения. Показано, что подсистема мониторинга включает в себя три направления сбора данных: регистрацию метеоусловий в зоне загрязнения, регистрацию параметров загрязнения, регистрацию метеоусловий в зоне осадкообразования. Подсистема поддержки принятия решения включает инструменты прогнозирования развития зоны загрязнения и интенсивности её осаждения. Подсистема исполнения решений может использовать как методы химического воздействия на процессы осадкообразования, так и электрофизические методы.

Введение.

Обеспечение экологической безопасности атмосферного воздуха основывается на двух составляющих – мониторинге химического состава воздуха и локализации вредных веществ в местах их образования. Существующие системы контроля атмосферы направлены на предотвращение опасных выбросов в атмосферу и не позволяют обеспечить экологическую безопасность в случае критического выброса веществ в атмосферу. Такая концепция обеспечения экологической безопасности полностью себя оправдывает при нормальных условиях жизнедеятельности, так как гораздо проще технически и экономически менее затратно реализовать систему предотвращения загрязнения, чем систему ликвидации загрязнения. Однако при возникновении чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера, которые происходят с той или иной степенью вероятности, существующие подходы по обеспечению экологической безопасности атмосферы, не могут решить проблему ликвидации атмосферного загрязнения. Перспективным решением данной проблемы является осаждение загрязнений искусственными атмосферными осадками, однако системы обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы методами искусственного осадкообразования на сегодняшний день не существует.

Анализ последних достижений и публикаций.

Общая структура системы обеспечения экологической безопасности состоит из четырех основных блоков: объект воздействия (зона экологического загрязнения), система мониторинга, система поддержки принятия решения и система исполнения решения [1–3]. Система экологического мониторинга по структуре адекватна структуре мониторинга чрезвычайных ситуаций и поэтому структурно так же состоит из трех уровней [1–6]. К первому уровню относятся средства мониторинга, т.е. приборы регистрации опасных факторов или метеорологических параметров. Такие приборы могут быть как для регистрации одного параметра, так и нескольких параметров параллельно. Так как контроль параметров необходимо проводить в различных точках пространства, то приборы контроля могут быть разнесены по горизонтали (в точках с различными географическими координатами) и по вертикали (контроль параметров на различных высотах). Полученная средствами контроля параметров первичная информация по кабелям или радиоканалам передается к приборам второго уровня, которые

предназначены для обработки полученной информации и предоставления её на третий уровень в удобной форме. На третьем уровне производится анализ полученной информации и принимаются решения про дальнейшие действия по ликвидации чрезвычайной ситуации.

В правовом отношении вопросы экологической безопасности в Украине имеют серьезную законодательную поддержку. Так Закон Украины «Про охорону навколишнього середовища» [7] предусматривает создание Государственной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС) и проведение наблюдений за состоянием окружающей среды и уровнем её загрязнения. Исполнение этих функций возложено на Минприроды и другие центральные органы исполнительной власти, которые являются субъектами мониторинга окружающей среды, а также предприятия и организации, действия которых могут привести к загрязнению окружающей среды. Основные принципы функционирования ГСМОС определены в постановлении Кабинета Министров Украины [8]. Функционирование ГСМОС осуществляется по трем уровням, которые разделяются по территориальному признаку. Для координации действий ГСМОС создана Межведомственная комиссия по вопросам мониторинга окружающей среды [9].

При создании системы экологической безопасности нижней атмосферы особую роль приобретают методы искусственного осадкообразования над зоной загрязнения, которые в зависимости от своей природы, делятся на химические и электрофизические. В зависимости от температуры облака в качестве активных реагентов могут выступать льдообразующие (йодистое серебро) и гигроскопические (хлорид натрия) вещества [10]. Наличие у ядра конденсации электрического заряда существенно повышает интенсивность конденсации на нем паров воды [11-14]. Одним из перспективных способов дистанционной искусственной ионизации воздуха является воздействие на локальный объем атмосферы мощного электромагнитного излучения [15].

Между тем общей системы взаимодействия различных составляющих: мониторинга, принципов принятия и исполнения решения не разработано.

Постановка задачи и её решение.

Целью работы является разработка новой комплексной системы обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы на основе современных физических и физико-химических методов искусственного осадкообразования.

Общая структура системы обеспечения экологической безопасности и порядок взаимодействия её подсистем представлена на рис. 1.

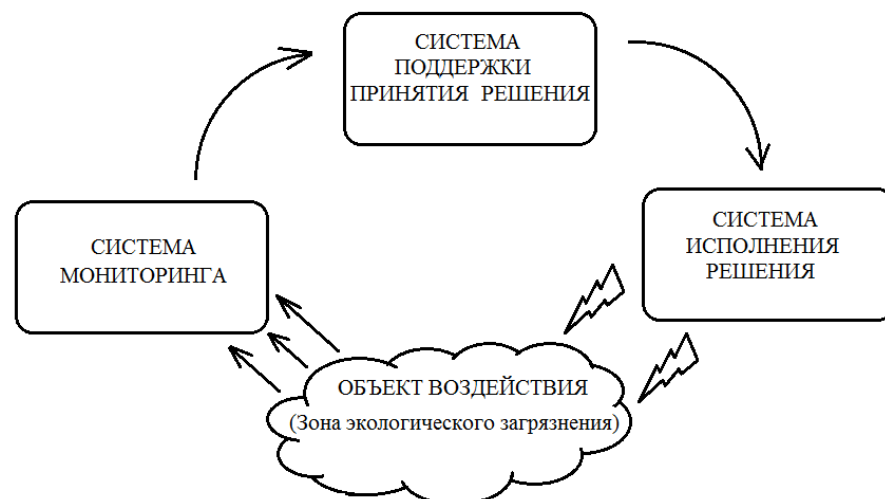


Рис. 1. Структура системы обеспечения экологической безопасности

В системе поддержки принятия решения (рис. 1.) лицо, которое принимает решение, определяет один или несколько критериев, с учетом которых осуществляется прогностическое моделирование зоны распространения загрязнения и вырабатываются управленческие решения, которые обоснованы соответствующими расчетами.

Получив набор вариантов управленческих решений лицо, которое принимает решение, выбирает один из них, или задает еще дополнительные критерии.

Утвержденное ответственным лицом решение передается в систему исполнения решений, где выполняется его формализация и донесение до исполнителей, которые влияют на процессы обеспечения экологической безопасности и зону загрязнения. Изменения состояния объекта воздействия вызывают изменения в величинах измеряемых параметров, которые фиксируются средствами мониторинга. Далее эти изменения обрабатываются и дальнейшее моделирование показывает эффективность исполнения принятых управленческих решений – контур управления замкнулся.

Для более оперативной работы органов управления процессом ликвидации зоны загрязнения должны быть созданы программно-технические комплексы автоматизированных рабочих мест. Каждый из созданных таких комплексов должен обеспечивать автоматизацию выполнения некоторых закрепленных функций, обеспечение оперативности принятия и обработки информации персоналом управления в интерактивном режиме, и простоту в использовании.

В целом требования к системе обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы методами искусственного осадкообразования включают: проведение качественного (полного, своевременного) мониторинга метеорологической ситуации в зоне воздействия; проведение качественного мониторинга зоны загрязнения; наличие инструмента достоверного прогнозирования метеорологических процессов и процессов очистки атмосферы; наличие автоматизированного программно-технического комплекса сбора данных и их обработки для качественного принятия управленческого решения; наличие методик использования эффективных методов и способов искусственного инициирования осадков над зоной загрязнения.

В соответствии с Законом Украины «Про охорону навколишнього середовища» [7] та Законом Украины «Про охорону атмосферного повітря» [16], разработка технического решения комплексной системы обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы должна проводиться в соответствии с состоянием экологической безопасности системы – т.е. с таким состоянием окружающей природной среды, при котором происходит ухудшение экологической обстановки и возникновение опасности для здоровья людей; а также обеспечивать выполнение следующих требований: 1) обеспечение безопасной окружающей природной среды, 2) предотвращение условий возникновения экологических катастроф, 3) внедрение и использование современных экологически безопасных технологий при решении этих задач.

Комплексная функциональная схема системы обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы базируется на общих принципах построения систем обеспечения экологической безопасности и гражданской защиты [1–6, 17] и представлена на рис. 2.

Первый уровень системы мониторинга включает в себя три необходимые составляющие. На первом этапе проводится мониторинг зоны загрязнения с выявлением размеров зоны загрязнения, её географических координат, высоты нижней и верхней границ загрязнения, химический состав загрязняющих веществ, количественный состав загрязняющих веществ, дисперсность загрязняющего аэрозоля. На втором этапе, либо параллельно с первым, проводится мониторинг метеорологических параметров в зоне загрязнения: атмосферное давление, температура, влажность, скорость и направление ветра. Третьей составляющей первого уровня системы мониторинга является регистрация метеорологических параметров в зоне возможного осадкообразования [18].

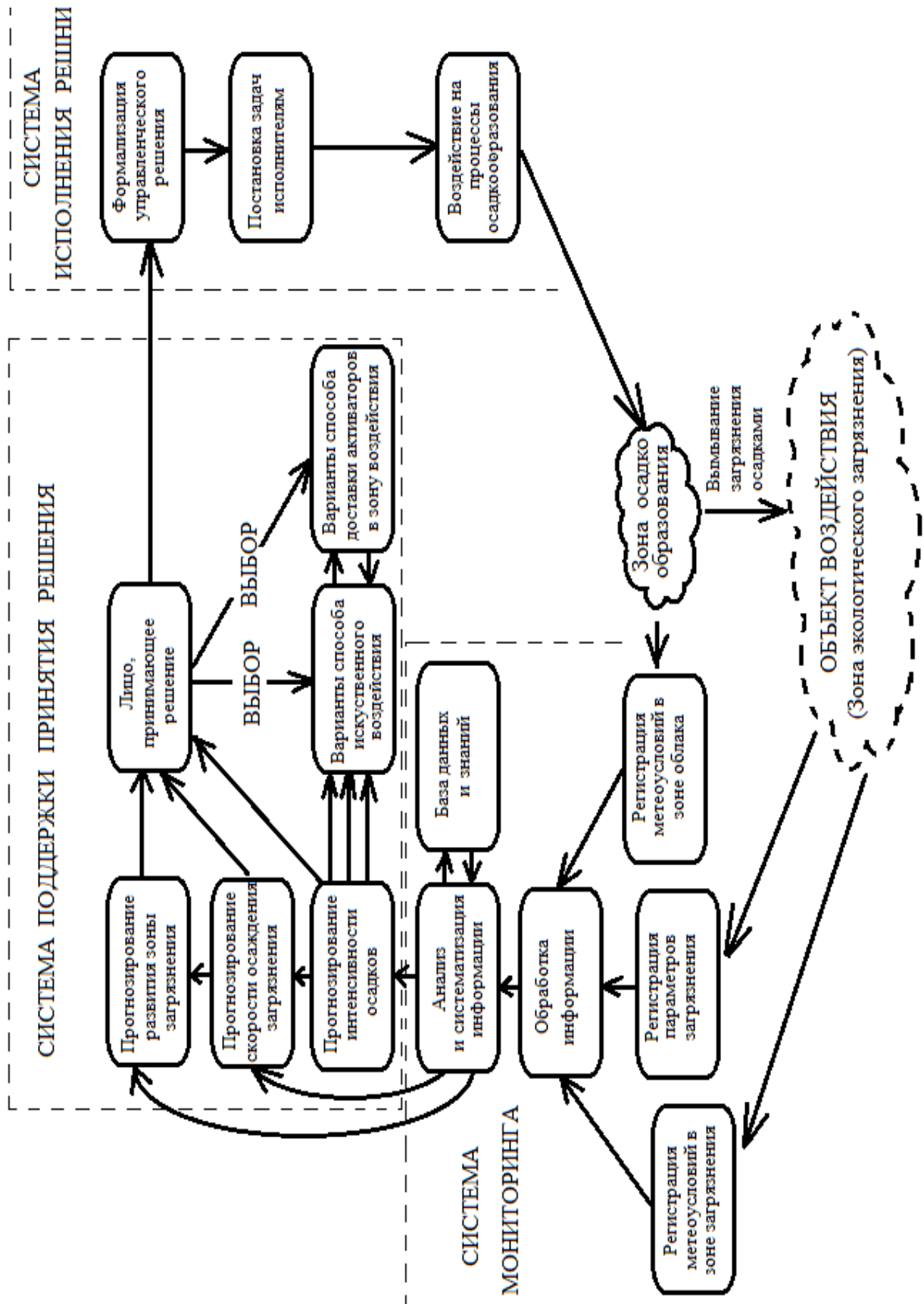


Рис. 2. Комплексная функциональная схема системы обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы при использовании новых и усовершенствованных методов искусственного осадкообразования

Далее данные поступают на второй и третий уровни системы мониторинга, где происходит их обработка, анализ и систематизация. Подготовленные результаты мониторинга поступают в систему поддержки принятия управленческого решения, где на основе полученных данных с использованием комплекса расчетных инструментов проводится прогнозирование интенсивности осадков, которые и определяют скорость выведения загрязнения из нижней атмосферы. В свою очередь, скорость осаждения загрязнения будет определять развитие зоны загрязнения.

Учитывая, что интенсивность осадков, кроме метеорологических условий в зоне осадкообразования, зависит от метода и способа искусственного воздействия, лицо, которое принимает управленческое решение, на основе полученных в результате прогнозирования данных должно выбрать наиболее эффективный способ воздействия, подходящий для данных условий. В этом случае существенную роль приобретает выбор способа доставки активаторов в зону осадкообразования, который зависит от выбранного способа воздействия. Выбор подходящего способа доставки также находится в компетенции лица, принимающего решение.

После того, как руководитель процесса ликвидации загрязнения определился со способами воздействия и доставки активных центров каплеобразования в зону воздействия, управленческое решение поступает в систему исполнения решения, где происходит его формализация и постановка конкретных задач перед исполнителями. В качестве исполнителей могут выступать пилоты самолетов для распыления реагентов, операторы БПЛА, предназначенных для доставки реагентов или операторы многопозиционной системы наземных излучателей – при выборе электрофизического метода воздействия.

При искусственном воздействии на облачные образования начинают выпадать осадки, абсорбируя опасные вещества и таким образом выводят их из зоны загрязнения. При этом проводится мониторинг зоны загрязнения по остаточной концентрации опасных веществ, что даёт возможность оценить эффективность как использованного способа очистки атмосферы, так и принятых управленческих решений.

Выводы.

В работе предложена новая комплексная система обеспечения экологической безопасности нижней атмосферы на основе разработанных алгоритмов прогнозирования и с использованием эффективных многофункциональных способов искусственного осадкообразования. В состав разработанной системы обеспечения экологической безопасности включены три подсистемы – мониторинга; поддержки управленческого решения и его исполнения. Подсистема мониторинга позволяет получить полный спектр данных о зоне загрязнения, метеорологической ситуации в зоне загрязнения и зоне осадкообразования. Подсистема поддержки принятия управленческих решений позволяет проводить прогнозирование интенсивности осадков над зоной загрязнения, интенсивности очистки зоны загрязнения. Подсистема выполнения управленческого решения располагает высокоэффективными способами искусственного осадкообразования, которые применимы в широком диапазоне атмосферных условий и имеют специализацию при использовании по видам загрязнения.

1. Кудинов В.А. Современные концепции глобальной экологической безопасности / В.А. Кудинов, Е.С. Бабий, А.В. Кудинова // Проб. Одес. політех. ун-ту. – 2012. – Вип.1. – С. 276–281.

2. Азаренко Е.В. Проблема управления экологической безопасностью прибрежных вод и пути ее решения / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2012. – Вип. 2(100). – С. 271–275.

3. Болотских М.В. Научные основы эффективного предупреждения и борьбы с чрезвычайными ситуациями и стихийными бедствиями/ М.В. Болотских, М.В. Орешкин, П.В. Шелихов, Е.П. Луганцев. – Луганск: ЛНАУ. – 2004. – 34 с.
4. Калач А.В. Интеллектуальная интегрированная система безопасности / А.В. Калач, В.И. Савинова, Е.В. Калач // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – Вып. 5(45). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2012-1/05-05-12.ttb.pdf>
5. Крутков В.А. Геоинформационное обеспечение мониторинга окружающей среды и климата / В.А. Крутков, Ю.М. Полищук // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – № 1. – С. 12 – 20.
6. Лисиченко Г.В. Про вдосконалення системи моніторингу довкілля в світлі задач сталого розвитку / Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, В.А. Бабинець [та інш.] // 36. Тр. Севастоп. Нац. ун-ту ядерної енергії і промисловості. №14. – Севастополь, 2005. – С. 50 – 59.
7. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
8. Постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 року № 391 „Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/391-98-p>
9. Постанова Кабінету Міністрів України від 17.11.2001 № 1551 «Про утворення Міжвідомчої комісії з питань моніторингу довкілля» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1551-2001-p>
10. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы / Л.Г. Качурин. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 463 с.
11. Enghoff M.V. The role of atmospheric ions in aerosol nucleation – a review / M.V. Enghoff, H. Svensmark // Atmos. Chem. Phys. Discuss., 2008. – V. 8. –pp. 7477–7508.
12. Hackam R. Air pollution control by electrical discharges / R. Hackam, H. Akiyama // IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation., – 2000. – V. 7, N 5. – pp. 654–683.
13. Лапшин В.Б. О давлении пара над заряженной каплей / В.Б. Лапшин, А.А. Палей, М.Ю. Яблоков // Журнал физической химии. – 2002. – Т.76, №10. – С. 1901–1903.
14. Куни Ф.М. К теории зародышеобразования на заряженных ядрах. Вычисление работы образования капли в сильном поле заряженного ядра / Ф.М. Куни, А.И. Русанов, А.К. Щекин // Коллоидный журнал. – 1983. – Т. 45, №5. – С. 901–907.
15. Борисов Н.Д. Искусственная ионизированная область в атмосфере / Н.Д. Борисов, А.В. Гуревич, Г.М. Милих. – М.: ИЗМИРАН, 1986. – 348 с.
16. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 50, ст.678 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>
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. – Харків: ХУПС імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204 – 216.
18. Тютюник В.В. Дослідження умов раннього моніторингу та попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру: звіт про НДР / керівник роботи: В.В. Тютюник; виконавці: В.Д. Калугін, Б.Б. Поспелов, Р.І. Шевченко, М.В. Кустов, С.С. Говаленков – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2014. – 266 с.

М.В. Кустов, В.Д. Калугін

**СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НИЖНЬОЇ АТМОСФЕРИ
З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ОПАДОУТВОРЕННЯ**

Розроблена комплексна система забезпечення екологічної безпеки нижньої атмосфери на основі сучасних методів штучного опадоутворення. Система складається з трьох основних підсистем: моніторингу, підтримки прийняття рішення і виконання рішення. Показано, що підсистема моніторингу включає в себе три напрямки збору даних: реєстрацію метеоумов в зоні забруднення, реєстрацію параметрів забруднення, реєстрацію метеоумов в зоні опадоутворення. Підсистема підтримки прийняття рішення включає інструменти прогнозування розвитку зони забруднення і інтенсивності її осадження. Підсистема виконання рішень може використовувати як методи хімічного впливу на процеси опадоутворення, так і електрофізичні методи.

M. Kustov, V. Kalugin

**THE LOWER ATMOSPHERE ENVIRONMENTAL SAFETY SYSTEM BY MEANS
OF THE ARTIFICIAL ATMOSPHERIC PRECIPITATION METHODS**

Developed a comprehensive system to ensure the environmental safety of the lower atmosphere on the basis of modern methods of artificial precipitation formation. The system consists of three major subsystems: monitoring, decision support and execution. It is shown that the monitoring subsystem includes three areas of data collection: check the weather conditions in the area of contamination check pollution parameters, check conditions in the precipitation area. The subsystem of decision support includes forecasting tools development zone of contamination and the intensity of its deposition. Subsystem execution of the solutions can be used as chemical effects methods on the sediment formation processes and electrophysical methods.

УДК 504.05

О.О. ПОПОВ¹, А.В. ЯЦИШИН¹, В.О. КОВАЧ¹, О.В. АЛЕКСЄЄВА²

¹Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ

²Президія НАН України, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ «АЕС – НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ»

З позицій методології системного аналізу об'єкти взаємодії «АЕС – навколишнє природне середовище» ідентифіковано як велику динамічну систему, для якої розроблено концептуальну схему досліджень з відповідними логіко-інформаційними, динамічними математичними та експертними моделями різних ієрархічних рівнів. Це дало можливість визначити типові задачі моделювання питань екологічної безпеки та стійкого функціонування цієї системи за геологічними та екологічними критеріями. Проведено систематизацію типових взаємозв'язків та негативних впливів різних джерел небезпек, які формують природно-техногенний стан усієї системи «АЕС – навколишнє природне середовище» і визначають основні види екологічних небезпек.

Вступ

Атомна енергетика України є однією з базових галузей економіки України, та джерелом її енергетичної стабільності. Протягом тривалого періоду атомна енергетика забезпечує істотну частину загального виробництва електроенергії в Україні (до 50%).

У даний час на чотирьох АЕС, що підпорядковані НАЕК «Енергоатом», експлуатуються 15 ядерних енергоблоків із загальною встановленою потужністю 13835 МВт: 13 енергоблоків з реакторами типу ВВЕР-1000 та 2 енергоблоки з реакторами типу ВВЕР-440. Це складає 26,3% від сумарної встановленої потужності всіх електростанцій країни [1, 2].

Відповідно до «Енергетичної стратегії України до 2030 року» розвиток паливно-енергетичного комплексу країни тісно пов'язується з ядерною енергетикою. Планується, що в загальному балансі виробництва електроенергії частка АЕС складе 52,1% [14].

Реальність і здійсненність такого державного підходу залежить не тільки від фінансово-економічних чинників, а й від того, наскільки безпечно працюватимуть підприємства ядерно-енергетичної галузі, у т.ч. і з екологічної точки зору.

Розвиток атомної енергетики повинен здійснюватися за результатами вивчення впливу цієї галузі виробництва на навколишнє середовище під час безаварійної роботи підприємств. Такі дослідження необхідно проводити з урахуванням усього комплексу факторів, пов'язаних із впливом не тільки на здоров'я людини, а й безпосередньо на компоненти довкілля.

Використання лише санітарно-гігієнічних показників може виявитися некоректним; необхідно відійти від антропоцентричного світогляду у вивченні стану НПС та враховувати ландшафтну структуру територій навколо енергетичних об'єктів як характеристики природних властивостей та потенціалу. Лише у цьому випадку буде можливо в повній мірі дослідити вплив підприємств атомної енергетики на НПС, існуючі зв'язки між компонентами довкілля та забезпечити екологічну безпечність промислового виробництва [6, 11, 13, 15].

Концептуальна схема функціонування системи «АЕС – навколишнє природне середовище»

Дослідження [7, 12, 13] щодо вивчення особливостей взаємодії різних підсистем навколишнього природного середовища (НПС) з об'єктами інфраструктури АЕС та

У відповідності до мети і цілей роботи, за наведеною на рис. 1 схемою, проведене дослідження центральних функціонуючих елементів ВДС «АЕС–НПС» та зв'язків між ними, що в узагальненому вигляді подано в табл. 1.

Аналіз функціонування головних структурних елементів ВДС «АЕС–НПС» та їх послідовне попарне співставлення між собою, що висвітлені в табл. 1 у відповідності з концептуальною схемою рис. 1, дозволили авторам роботи визначити типові задачі моделювання питань екологічної безпеки та стійкого функціонування цієї системи за геологічними та екологічними критеріями. Більш детальний опис взаємозв'язків між функціонуючими елементами можливо представити за допомогою ЛІМ інших ієрархічних рівнів.

Таблиця 1. Зведені дані про основні функціонуючі елементи системи «АЕС–НПС», характер зв'язків між ними та типові задачі моделювання

Напрямок зв'язку між елементами системи «АЕС–НПС» (рис. 1)	Функціонуючий елемент (ФЕ)	Ресурси, що споживає ФЕ	Ресурси, що виробляє ФЕ	Типові задачі моделювання
1	2	3	4	5
(1-0) територія – АЕС	АЕС	Земельні, мінеральні, та водні ресурси	Електрична та тепла енергія, впливи різної природи, забруднення, відходи, вторинна сировина та енергія	Задача стійкого функціонування від зовнішніх ресурсів та енергії; комплексний екологічний моніторинг АЕС для штатних та аварійних умов та задачі екологічної безпеки; оптимізація поводження з відходами
(0-1) АЕС – територія	Територія	Земельні, повітряні, мінеральні, та водні ресурси, прямі природні і зворотні техногенні впливи	Прямі і зворотні техногенні і техногенно-природні впливи, відходи	Задачі вибору районів, пунктів та майданчиків розміщення АЕС та об'єктів ЯПЦ; задачі оптимізації видобутку ресурсів, прогнозні моделі оцінки впливу АЕС на навколишнє середовище; задачі оцінки екологічного ризику для штатних та аварійних ситуацій
(0-2) АЕС – геологічне середовище	Геологічне середовище (ГС)	Мінеральна сировина, впливи та забруднення, відходи	Прямі природні і зворотні техногенно-природні впливи	Задачі вибору районів, пунктів та майданчиків розміщення АЕС та об'єктів ЯПЦ за критеріями ГС; прогнозні моделі оцінки впливу АЕС на ГС; задачі оцінки екологічного ризику для штатних та аварійних ситуацій; задачі прогнозу тепло та масопереносу забруднень в ГС
(2-0) Геологічне середовище – АЕС	АЕС	Мінеральна сировина, прямі природні і зворотні техногенно-природні впливи	Техногенні впливи, забруднення, відходи, вторинна сировина та енергія	Задачі стійкого функціонування АЕС за ресурсними критеріями споживання; задачі оцінки інженерного ризику АЕС та прогнозування стану техногенно-екологічної безпеки (ТЕБ) за геологічними та екологічними критеріями.

1	2	3	4	5
(0-3) АЕС – повітряне середовище	Повітряне середовище	Повітряні ресурси, впливи та забруднення	Природні і техногенно-природні впливи	Задачі вибору районів, пунктів та майданчиків розміщення АЕС та об'єктів ЯПЦ за метеоролог-гічними критеріями, прогнози моделі оцінки впливу АЕС на повітряне середовище, задачі оцінки інженерного та екологічного ризику для штатних та аварійних ситуацій, задачі переносу забруднень в атмосфері.
(3-0) Повітряне середовище – АЕС	АЕС	Повітряні ресурси, прямі природні і зворотні техногенно-природні впливи	Техногенні впливи, забруднення викиди в атмосферу	Задачі стійкого функціонування АЕС за критеріями споживання повітряних ресурсів; задачі оцінки інженерного ризику АЕС та прогнозування стану ТЕБ за метеорологічними критеріями впливу
(4-0) Зовнішні входи – АЕС	АЕС	Ядерне паливо, додаткова енергія, феноменологічні впливи	–	Задачі стійкого функціонування АЕС за критеріями споживання зовнішніх ресурсів та енергії; задачі оцінки інженерного ризику АЕС за критеріями феноменологічних впливів
(5-0) Населення – АЕС	АЕС	Робоча сила, персонал АЕС	Ресурси виробничої діяльності, впливи різної природи, забруднення, відходи, вторинна сировина та енергія	В роботі не розглядається
(0-5) Зв'язок АЕС – населення, розглядається опосереднено, як (2-5), (3-5) та (6-5)	Населення	Впливи та забруднення, відходи	Людські ресурси, що розглядаються як погіршення стану здоров'я та смертність населення	Задачі оцінки впливу показників якості НПС на здоров'я населення в штатних і аварійних ситуаціях роботи АЕС та об'єктів ЯПЦ; задачі комплексного екологічного моніторингу, ТЕБ та оцінки ризику
(6-0) Біосфера – АЕС	АЕС	Впливи, забруднення	Природні і техногенні впливи	В роботі не розглядається
(0-6) АЕС – біосфера, розглядається як складові з (2-6) та (3-6)	Біосфера: тваринний і рослинний світ	Впливи, забруднення	Ресурси біосфери, що розглядаються як погіршення стану рослинного та тваринного світу	Задачі оцінки впливу показників якості НПС на стан біосфери в штатних і аварійних ситуаціях роботи АЕС та об'єктів ЯПЦ; задачі комплексного екологічного моніторингу, ТЕБ та оцінки ризику
(0-8) АЕС – відходи	Відходи	Впливи, забруднення, ресурси відходів	Вторинні ресурси, відходи захоронення, техногенні впливи, забруднення	Задачі оптимізації поводження з відходами; задачі комплексного екологічного моніторингу, техногенно-екологічної безпеки та оцінки ризику

1	2	3	4	5
(8-9) Відходи – могильники відходів	Могильник (сховища) відходів	Ресурси повітряні та водні для охолодження та вентиляції та енергія	Впливи, забруднення	Задачі оптимізації використання ресурсів споживання для підтримки нормальних умов експлуатації сховищ радіоактивних відходів (РАВ) (могильників відходів). Задачі техногенно- екологічної безпеки поводження з відходами, комплексного екологічного моніторингу та оцінки ризику
(8-4) Відходи – вторинні ресурси, що розглядаються як зовнішні входи в АЕС	Зовнішні входи до системи АЕС	Додаткове вторинне ядерне паливо, вторинна енергія	Впливи, забруднення, відходи.	Задачі оптимізації використання вторинних ресурсів та енергії; задачі ТЕБ поводження з вторинними ресурсами, комплексного екологічного моніторингу та оцінки ризику

Джерела радіаційно-екологічної небезпеки при експлуатації АЕС

Техногенні впливи на НПС при будівництві й експлуатації АЕС різноманітні. Вони пов'язані з фізичними, хімічними, радіаційними та іншими чинниками впливу від експлуатації АЕС на об'єкти НПС.

Найбільш істотні фактори [3, 13]:

- локальний механічний вплив на рельєф – при будівництві;
- порушення стоку поверхневих і ґрунтових вод, що містять хімічні і радіоактивні компоненти;
- зміна характеру землекористування й обмінних процесів у безпосередній близькості від АЕС;
- зміна мікрокліматичних характеристик прилеглих районів.

Наявність потужних джерел тепла у вигляді градирень та водойм-охолоджувачів, що входять до технологічного циклу роботи АЕС, помітним чином змінює мікрокліматичні характеристики прилеглих районів. Робота систем з підготовки води для технологічних та побутових потреб, рух води в мережах зовнішнього тепловідводу, скидання технологічних вод, що містять різноманітні хімічні компоненти впливають на популяції, флору і фауну екосистем.

Особливе значення має поширення радіоактивних речовин у компонентах НПС. Загально визнано, що АЕС при їхній нормальній експлуатації набагато – не менш чим у 5-10 разів «чистіше» в екологічному відношенні теплоелектростанцій. Проте при аваріях АЕС можуть спричинити істотний радіаційний вплив на людей та екосистеми. Тому забезпечення безпеки екосфери і захисту НПС від шкідливих впливів АЕС – актуальна наукова і технологічна задача ядерної енергетики, вирішення якої сприятиме забезпеченню сталого розвитку ядерної галузі.

Вплив АЕС на довкілля можна розподілити на такі складові [8, 13, 15]:

- викиди у повітря радіоактивних сполук, які в аварійних режимах роботи АЕС можуть створювати потенційну небезпеку здоров'ю людини, флорі та фауні;
- зміни природного режиму водних ресурсів через теплове, радіаційне, хімічне і біологічне забруднення;
- порушення природного режиму землекористування через розміщення майданчиків АЕС та електричних мереж, складування різних видів відходів, у тому числі твердих та рідких радіоактивних відходів;
- активізація деяких екзогенних та ендемогенних геодинамічних процесів (зсуви, ерозія ґрунтів, берегоруїнні процеси, просідання ґрунтів, тощо).

Чинники екологічного впливу АЕС можна розподілити на дві групи – це чинники

безпосереднього впливу (прямої дії) та чинники опосередкованого впливу.

До чинників безпосереднього екологічного впливу належать ті, що пов'язані з експлуатацією самих АЕС та об'єктів їх інфраструктури (електричні мережі, трансформаторні станції, градирні, системи водоспоживання тощо), а до опосередкованих – ті, що виникають при створенні умов для функціонування цих об'єктів (наприклад, вплив на довкілля при видобуванні та транспортуванні палива, що поставляється на АЕС, при виготовленні електроенергетичного обладнання).

До загальних чинників екологічного впливу АЕС належать: відчуження та механічне порушення земельних ресурсів; до групових можна віднести теплове та хімічне забруднення води, акустичний вплив.

До специфічних впливів АЕС належать: викиди забруднюючих речовин і утворення твердих, рідких та газоподібних радіоактивних відходів; утворення зон підвищеного напруження електромагнітного поля (лінії електропередач (ЛЕП)). У табл. 2 наведено класифікацію чинників впливу об'єктів АЕС на довкілля відповідно до зазначених категорій впливу [3, 7, 8, 13].

За умов штатного режиму роботи атомних реакторів і забезпечення надійного захоронення створюваних на них РАВ, АЕС є найбільш екологічно чистими і безпечними для природного середовища і населення енергетичними об'єктами.

Цей висновок підтверджується щоквартальними та щорічними звітами ВП АЕС України по природоохоронній діяльності та оцінці впливу нерадіаційних (у відповідності з СОУ-Н ЯЕК 1.026:2010) та радіаційних (у відповідності з СОУ-Н ЯЕК 1.009:2008) факторів на НПС [9, 10].

Також на ВП АЕС НАЕК «Енергоатом» у 2007-2012 рр. були проведені декілька екологічних аудитів, які показали та довели безпеку екологічного впливу АЕС на НПС. Екологічні аудити виконувались незалежними закордонними та вітчизняними компетентними організаціями [9].

У щорічних «Національних доповідях про стан навколишнього природного середовища України» Мінприроди України говориться про незначні викиди та скиди, що здійснюють АЕС в НПС, які є на декілька порядків нижчі в порівнянні з вимогами НРБУ-97 щодо допустимих значень радіонуклідів в повітрі приземного шару атмосфери, в підземних та поверхневих водах територій розташування АЕС України. Вплив радіаційних факторів на стан НПС більш детально описано в окремому річному звіті дирекції з нагляду за безпекою [10].

Втім, атомна енергетика в цілому з урахуванням відходів, що скидаються у природне середовище обслуговуючими її підприємствами інших галузей, не може вважатися екологічно чистою.

При роботі АЕС утворюються різні види РАВ. Так, твердими відходами АЕС є частини демонтованого обладнання, відпрацьовані фільтри, сміття тощо; рідкими відходами є залишки після випаровування радіоактивних вод, дезактиваційні розчини, води спецпалень та інші.

Усі радіоактивні викиди потоків газів у повітря технологічного та вентиляційного походження піддаються попередньому очищенню.

При роботі АЕС використовується велика кількість води для охолодження конденсаторів турбін. При цьому в атомних реакторах типу ВВЕР (PWR), що зараз встановлені на всіх українських АЕС, з турбін доводиться відводити значно більше теплоти, ніж з турбін ТЕС. За порівняно однакової потужності електростанцій витрати води на охолодження конденсаторів АЕС через градирні значно більші, ніж на ТЕС. У разі використання на АЕС водойм-охолоджувачів їхня поверхня також має бути значно більшою. В цьому випадку площа земель, що відводяться під водойм-охолоджувач також значно збільшується. Отже, АЕС при експлуатації мають суттєво більші масштаби використання природних водних і земельних ресурсів, ніж звичайні теплоелектростанції, що працюють на органічному паливі.

Таблиця 2. Класифікація факторів впливу об'єктів АЕС на довкілля

Чинники	Впливи	Енергетичні об'єкти
Чинники безпосереднього впливу		
Загальні	вилучення території	Для всіх об'єктів інфраструктури АЕС
Групові	теплове забруднення повітряного басейну і водного середовища	градірні, водойми-охолоджувачі АЕС
	зволожуюче забруднення повітряного басейну	градірні, водойми-охолоджувачі АЕС
	використання водних ресурсів; скиди забруднюючих речовин (у водні об'єкти/грунти)	АЕС
	шумовий вплив	ЛЕП АЕС
Специфічні	утворення твердих, рідких і газоподібних радіоактивних відходів	АЕС
	будівництво гребель	водойми-охолоджувачі АЕС, канали
	створення водойм	водойми-охолоджувачі АЕС, канали
	переформування берегів	водойми-охолоджувачі АЕС
	зміна сейсмічності території	водойми-охолоджувачі АЕС
	підтоплення та заболочування територій	водойми-охолоджувачі АЕС, канали
	вплив на підземні води	АЕС, водойми-охолоджувачі АЕС
	зміна внутрішньоводоймових процесів	Річки, водосховища
	виникнення блукаючих струмів	ЛЕП і електричні підстанції
	виникнення шумів	ЛЕП і електричні підстанції, насосні
утворення зон підвищеної напруженості електромагнітного поля	ЛЕП і електричні підстанції	

Чинники опосередкованого впливу		
Загальні	вплив на довкілля при виготовленні електроенергетичного обладнання	Для всіх об'єктів АЕС
Групові	вплив на довкілля при транспортуванні палива	АЕС

За умови нормальної експлуатації АЕС наявні реактори ВВЕР-1000 та ВВЕР-440 не спричиняють істотних змін природного радіоактивного фону. Разом з тим, під час технологічного процесу при експлуатації АЕС здійснюються певні викиди радіоактивних аерозолів і відбуваються витоки води, яка містить радіоактивні речовини (рис. 2) [8, 13].

Для захисту населення від впливу несприятливих виробничих чинників з урахуванням напрямків поширення можливих викидів та скидів навколо проммайданчиків АЕС встановлюються санітарно-захисні зони (ЮОУ АЕС – 2,5 км; ХАЕС – 2,7 км; РАЕС – 2,5 км; ЗАЕС – 2,5 км).

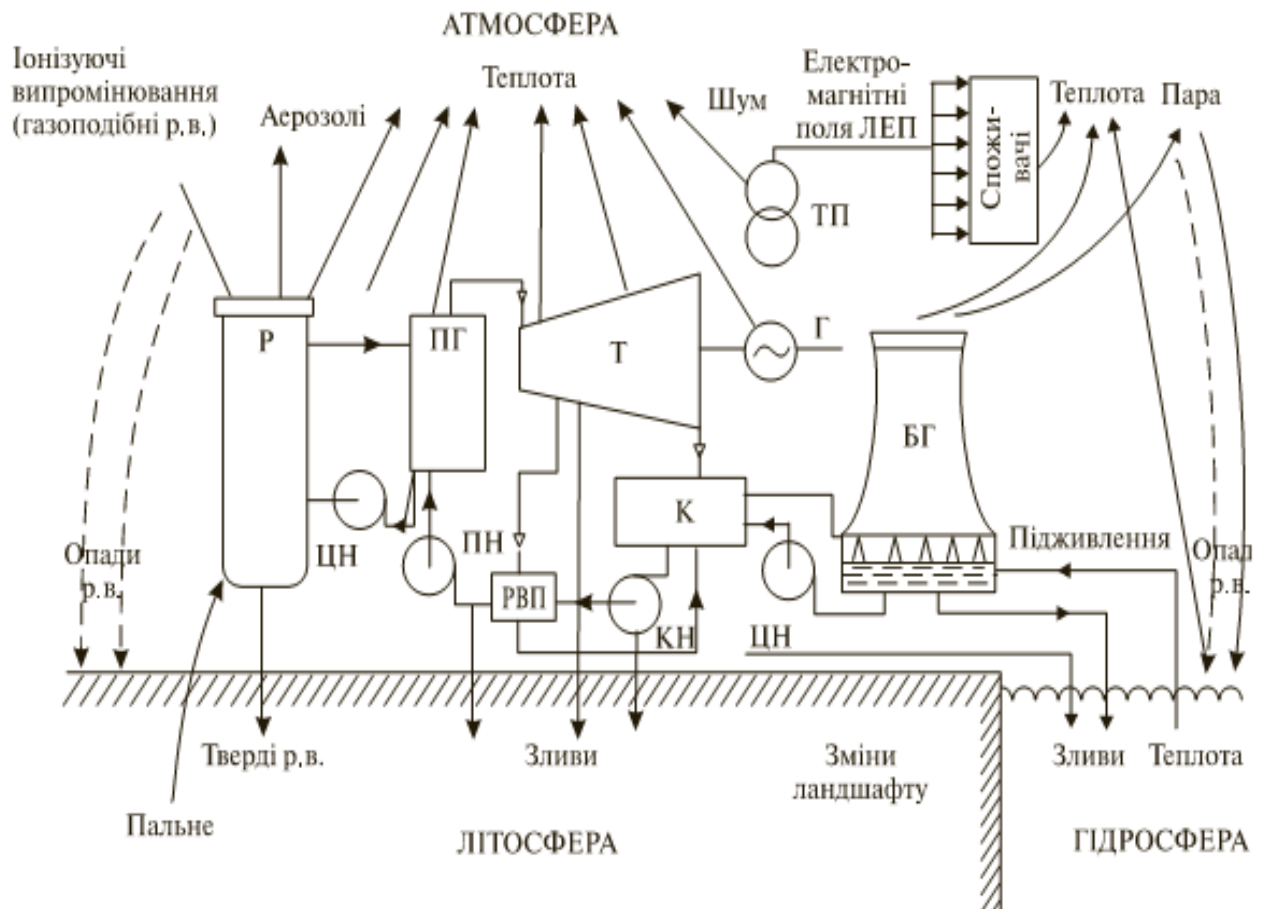


Рис. 2. Схема взаємодії АЕС і довкілля

Р – ядерний реактор, ПГ – парогенератор, Т – турбоагрегат, Г – електрогенератор, ПК – підвідні канали, К – конденсатор, РВП – регенеративні водопідігрівачі, КН – конденсатні насоси, ПН – живильні насоси, ЦН – циркуляційні насоси, ТП – трансформаторні підстанції, ЛЕП – лінії електропередач, БГ – бризкальна градирня, р.в. – радіоактивні відходи.

Основний чинник екологічної небезпеки АЕС – можливість значного радіоактивного забруднення довкілля внаслідок аварійних техногенних викидів при роботі атомних реакторів.

Забруднення території України радіоактивними викидами при аварії на Чорнобильській АЕС не мало аналогів як за масштабами, так і за глибиною екологічних, соціальних та економічних наслідків. Аварія на Чорнобильській АЕС призвела до забруднення близько 12 млн. га земель, з них 8,4 млн. га сільськогосподарських угідь. Залежно від ландшафтних та геохімічних особливостей ґрунтів, міри перевищення природного доаварійного рівня накопичення радіонуклідів у НС, пов'язаних з ними ступенів можливого негативного впливу на здоров'я населення, вимог щодо здійснення радіаційного захисту населення та інших спеціальних заходів, з урахуванням загальних виробничих соціально-побутових відносин, територія, що зазнала радіоактивного і забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, була поділена на спеціальні зони, а саме: зона відчуження, зона безумовного (обов'язкового) відселення, зона гарантованого добровільного відселення, зона посиленого радіоекологічного контролю [5].

Аналіз літературних даних, спеціальні натурні, експериментальні та модельні дослідження природних і техногенних процесів, їх параметрів і чинників небезпеки, що мали місце в зонах впливу АЕС України, дозволили систематизувати типові взаємозв'язки та негативні впливи різних джерел небезпек, які формують природно-техногенний стан усієї системи «АЕС–НПС» і визначають основні види екологічних небезпек, що показано на рис. 3 [3, 7, 12, 13].

На схемі представлені основні групи небезпечних геологічних і інженерно-геологічних процесів (явищ), що виділені у рамках. Прояв цих процесів безпосередньо в зоні розташування АЕС обумовлює можливі зміни в параметрах геологічного середовища та інших підсистемах – гідросфері, атмосфері та біосфері. Стрілки вказують, з одного боку, можливі негативні впливи об'єктів інфраструктури АЕС на розвиток (активізацію) геодинамічного процесу (явища), з іншого, – характер небезпечних можливих впливів природних процесів на інженерну стійкість споруд АЕС (пунктирні стрілки – незначний вплив, суцільні – можливі значні негативні впливи).

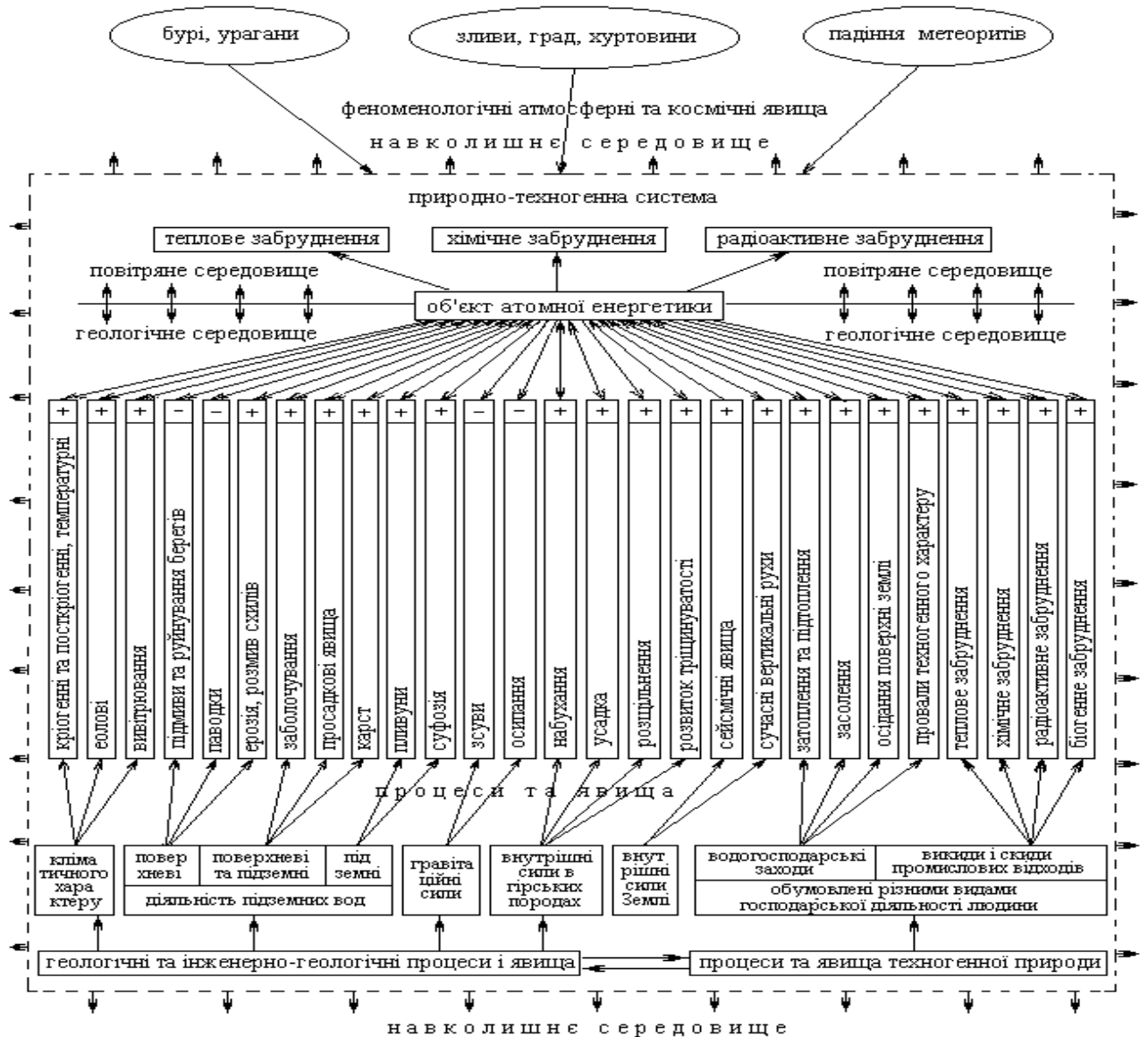


Рис. 3. Принципова схема формування стану природно-техногенної системи «АЕС–НПС» в зоні впливу АЕС (з зовнішніми та внутрішніми зв'язками між підсистемами та негативними процесами і явищами)

Знак “+” біля найменування процесу вказує на можливість його прояву на майданчику проектування АЕС, але такий процес повинен бути підконтрольним на весь час експлуатації станції, а також на випадок його активізації для зменшення негативного впливу повинні бути розроблені природозахисні заходи. Знак “-” вказує на недопустимість прояву процесу на майданчиках розміщення АЕС в зонах, де ці процеси можуть безпосередньо створювати підвищений ризик щодо відповідальних споруд АЕС (реакторне відділення, гребля водоймища-охолоджувача, сховище РАВ та ін.).

На схемі також відображено характер взаємодії з боку АЕС на інші підсистеми НПС – атмосферу, гідросферу, а також можливі впливи на саму АЕС з боку зовнішніх чинників (падіння метеориту або літака, катастрофічне атмосферне явище, впливи суміжних природно-техногенних систем).

При нормальній роботі АЕС та при проектних аваріях (оціночна імовірність аварійних ситуацій така, що ними нехтувати не можна) станція є джерелом відносно малих забруднень, впливи яких на НПС і населення незначні (ефекти синергізму внаслідок цього виключені). Проте, усі види впливів на НПС та населення з боку АЕС діють в одному напрямі, що в свою чергу призводить до ефекту, при якому відклики (реакція) екосистем і організму людини на впливи сумуються.

Для систематизації впливів від різних видів забруднень з об'єктів атомної енергетики, спрощення та чіткої структуризації моделей прогнозування ступеню техногенно-екологічної небезпеки для населення і довкілля запропоновано розділити систему «АЕС–НПС» на підсистеми, що включають: техногенну складову – джерела небезпеки (АЕС та об'єкти ЯПЦ), види забруднень; природні підсистеми – повітря, поверхневі води, підземні води, ґрунти, що розглядаються середовищами переносу забруднень з складними шляхами міграції хімічних та радіоактивних речовин, органічно пов'язаних з ланцюгами життєзабезпечення людини (диханням, надходженням з їжею, зовнішнім опроміненням та безпосереднім шкіряним контактом). Блоково-модульна структурна схема цієї моделі наведена на рис. 4. Ця концептуальна модель є базовою при розрахунках ступеня небезпеки для проживання населення, що мешкає в екологічно небезпечних зонах, і застосовується при розрахунках екологічних ризиків від дії радіаційних і хімічних чинників небезпеки.

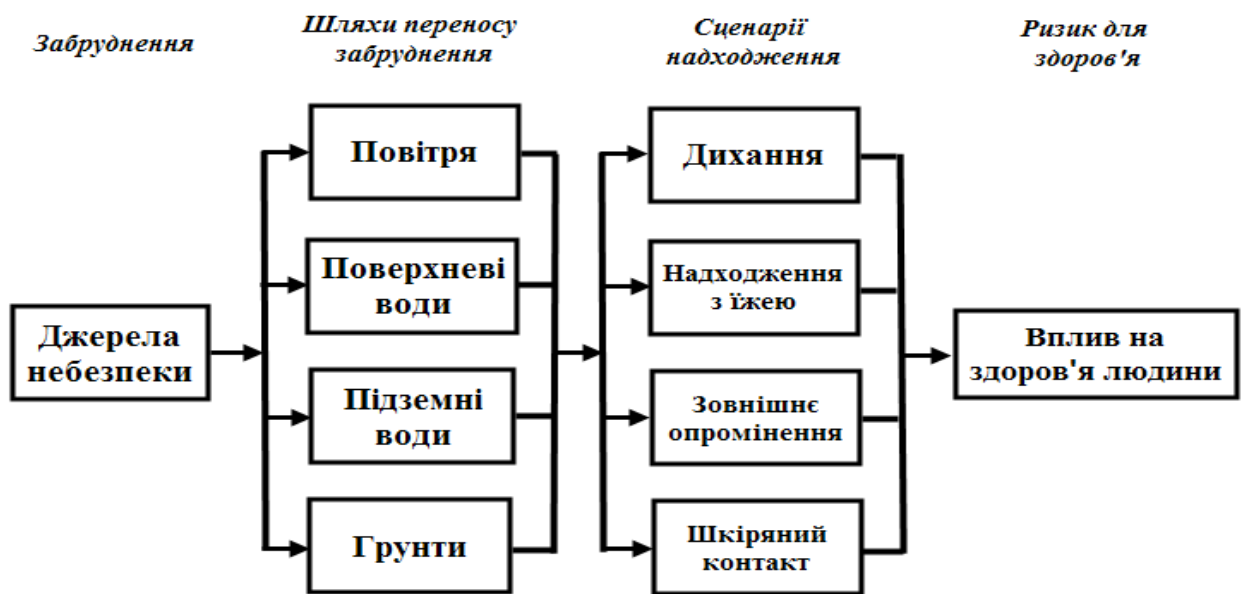


Рис. 4. Принципова структурна схема моделі розповсюдження речовин-забруднювачів у підсистемах природного середовища з урахуванням можливих сценаріїв впливу на населення

АЕС є не тільки потенційним джерелом радіоактивного забруднення, але і становлять загрозу як джерела хімічного забруднення довкілля [3, 9].

Основним джерелом хімічного забруднення повітряного басейну від діючих АЕС є, в основному, допоміжні об'єкти: пускові резервні котельні, дизельні генератори, пересувний транспорт, підприємства водо-каналізаційного господарства, ремонтно-будівні цехи і т.д. [9].

Внески АЕС у хімічне забруднення водних об'єктів можуть здійснюватись через продувочні води, які скидаються у ставки-охолоджувачі, та промислово-зливові води промайданчиків АЕС. Однак їх вплив в цілому оцінюється як незначний.

У технологічних циклах АЕС використовується значна кількість токсичних хімічних речовин, що вимагає ретельного аналізу можливих небезпек, пов'язаних з цими чинниками. Це вимагає здійснення низки превентивних заходів для запобігання

попадання шкідливих сполук в об'єкти НПС [4].

Більша частина АЕС України (ЗАЕС, ХАЕС, ЮУАЕС) в процесі своєї роботи для охолодження конденсаторів турбін використовує воду спеціально споруджених для цих цілей ставків-охолоджувачів. Тільки РАЕС і частково ЗАЕС використовують для цього зворотну воду, яка охолоджується градирнями. Продувки ставків-охолоджувачів на ЗАЕС та ЮУАЕС здійснюються періодично у відповідності з чинними регламентами та в строки, що дозволені природоохоронними та рибоохоронними органами. Підживлення з річки та продувка в річку систем оборотного охолодження РАЕС здійснюється постійно. За результатами експлуатації ставка-охолоджувача ХАЕС було доведено, що його продувка не потрібна, в зв'язку з тим, що водоймище має достатній водообмін з природним джерелом додаткової води [9].

Використана ВП АЕС технічна вода, стічні (після очистки), дебалансні та дощові води скидаються, як правило, в ставки-охолоджувачі. При цьому останні забруднюються хімічними, біологічними та іншими сполуками. АЕС здійснюють також тепловий вплив на НПС шляхом скидання в ставки-охолоджувачі підігрітих вод після конденсаторів турбін. В результаті випаровування та сольових надходжень зростає мінералізація закритих промислових водоймищ, що здійснює негативний вплив на роботу теплообмінного обладнання АЕС.

Таким чином, хімічний чинник небезпеки є важливою складовою в процесах експлуатаційного циклу роботи АЕС, що обґрунтовано вимагає здійснення контролю за цими процесами та їх потенційними впливами на об'єкти НПС.

Висновки

З позицій методології системного аналізу об'єкти взаємодії «АЕС – навколишнє природне середовище» ідентифіковано як велику динамічну систему, для якої розроблено концептуальну схему досліджень з відповідними логіко-інформаційними, динамічними математичними та експертними моделями різних ієрархічних рівнів. Це дало можливість визначити типові задачі моделювання питань екологічної безпеки та стійкого функціонування цієї системи за геологічними та екологічними критеріями. Проведено систематизацію типових взаємозв'язків та негативних впливів різних джерел небезпек, які формують природно-техногенний стан усїєї системи «АЕС – навколишнє природне середовище» і визначають основні види екологічних небезпек.

1. Аналитический годовой отчет о состоянии радиационной безопасности, радиационной защиты и оценки воздействия нерадиационных факторов на ОП АЭС ГП «НАЭК «Энергоатом» за 2014 год. – К. : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2015. - Т. 1. – 99 с.

2. Аналитический годовой отчет о состоянии радиационной безопасности, радиационной защиты и оценки воздействия нерадиационных факторов на ОП АЭС ГП «НАЭК «Энергоатом» за 2014 год. – К. : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2015. - Т. 2. – 88 с.

3. Бадяев В.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС. / В.В. Бадяев, Ю.А. Егоров, С.В. Казаков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.

4. Герцюк М.М. Хімічна безпека систем підготовки води Южно-Української АЕС / М.М. Герцюк та ін. // VII Міжнар. наук. – практ. конф. "Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення" (Алушта, АР Крим, вересень 12–16, 2011 р.): Зб. наук. ст. у двох томах – Харків, 2011. – Т.1. – С. 152-159.

5. Закон України «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи», введений в дію Постановою ВР N 797-ХІІ (797-12) від 28.02.91 (остання редакція закону N 5459-VI (5459-17) від 16.10.2012).

6. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення / А.Б. Качинський. – К. : НІСД, 2001. – 312 с.

7. Лисиченко Г.В. Математичне моделювання стійкого функціонування об'єктів атомної енергетики та прогнозування ступеню техногенно-екологічної небезпеки за

геолого-екологічними чинниками : дис. ... д-ра техн. наук : 01.05.02 / Лисиченко Гергій Віталійович. – К., 2002. – 406 с.

8. Маляренко В.А. Энергетика і навколишнє середовище / В.А. Маляренко. – Х. : Видавництво САГА, 2008. – 364 с.

9. Отчет «По оценке воздействия нерадиционных факторов ОП АЭС ГП НАЭК «Энергоатом» на окружающую среду за 2012 г.». – К. : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2013. – 87 с.

10. Отчет «Состояние радиационной безопасности и радиационной защиты на ОП АЭС ГП «НАЭК «Энергоатом» в 2012 г.». – К. : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2013. – 102 с.

11. Патон Б.Є. Майбутнє атомної енергетики / Б.Є. Патон, В.Г. Бар'яхтар, О.С. Бакай, І.М. Неклюдов // Вісник Національної академії наук України. – 2006. - № 4. – С. 3-13.

12. Попов А.А. Методы определения устойчивости геозкосистем в зонах наблюдения АЭС / А.А. Попов, В.Е. Ковач, О.В. Бляшенко, К.В. Сметанин // Міжнародний науковий журнал «ScienceRise». – 2015. – Т. 7, № 2(12). – С. 62–70.

13. Попов О.О. Вплив АЕС на екологічну безпеку прилеглих територій / О.О. Попов // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2014. – № 70. – С. 11–20.

14. Розпорядження КМУ «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» від 24.07.2013 № 1071-р [Електронний ресурс] / Веб-сайт Верховної Ради України. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-p/para6#n6>. – Дата доступу 20.09.2015. – Загол. з екрану.

15. Техногенна безпека АЕС : навч. посібник / А.Б. Тарнавський, Р.Ю. Сукач, Ю.Г. Сукач ; Держ. служба України з надзвичайних ситуацій, Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. – Львів, 2014. – Ч. 1. – 371 с.

А.А. Попов, А.В. Яцишин, В.Е. Ковач, Е.В. Алексева
ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «АЭС – ОКРУЖАЮЩАЯ ПРИРОДНАЯ СРЕДА»

С позиций методологии системного анализа объекты взаимодействия «АЭС – окружающая природная среда» идентифицированы как большая динамическая система, для которой разработана концептуальная схема исследований с соответствующими логико-информационными, динамическими математическими и экспертными моделями различных иерархических уровней. Это дало возможность определить типовые задачи моделирования вопросов экологической безопасности и устойчивого функционирования этой системы по геологическим и экологическим критериям. Проведена систематизация типичных взаимосвязей и отрицательных воздействий различных источников опасностей, которые формируют природно-техногенной состояние всей системы «АЭС – окружающая природная среда» и определяют основные виды экологических опасностей.

О.О. Popov, A.V. Yatsyshyn, V.O. Kovach, O.V. Aleksieieva
FEATURES OF SYSTEM FUNCTIONING “NPP – ENVIRONMENT”

Interaction objects in system “plant – environment” are identified as a large dynamic system from the standpoint of system analysis methodology. Conceptual scheme with relevant logical, informative, dynamic mathematical models and expert different hierarchical levels was developed for this system. It gave possibility to determine the typical problem of environmental safety modeling and sustainable operation of the system in geological and environmental criteria. Systematization of typical correlations and negative impacts of different sources of hazards (which form the natural and man-made state of the whole system “NPP – environment” and define the main types of environmental hazards) was conducted.

УДК 621.039.7.001.2; 504.75

І.П. КАМЕНЕВА¹, В.О. АРТЕМЧУК¹, А.В. ЯЦИШИН²

¹*Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ*

²*ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ*

ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ КОГНІТИВНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ В ЗАДАЧАХ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Запропоновано та розроблено узагальнену імовірнісну модель когнітивного аналізу даних, що включає наступні складові: імовірнісно-семантичну модель предметної області, алгоритми когнітивного аналізу даних з різних джерел, засоби виявлення нових знань та представлення одержаних результатів. Запропоновану модель адаптовано до ряду практичних задач в галузі екологічної безпеки.

Поняття когнітивного аналізу та когнітивного моделювання досить часто зустрічається в прикладних дослідженнях [2, 6, 7, 8], але автори пропонують різні моделі когнітивних досліджень і досить вільно трактують даний підхід. Однак наведені роботи поєднує той факт, що всі вони спираються на досягнення когнітивної психології та вбачають головну задачу своїх досліджень в розробці методів та засобів виявлення знань про певні об'єкти, процеси або явища.

Вважається, що теоретичні основи когнітивного підходу в задачах аналізу та управління складними системами закладено В.І. Максимовим (Інститут проблем управління РАН) [7].

Когнітивний підхід до аналізу даних в задачах екологічної безпеки допомагає своєчасно виявити тенденції розвитку небезпечних ситуацій, тобто забезпечити інформаційну підтримку для прийняття ефективних управлінських рішень із врахуванням великої кількості факторів впливу в умовах недостатньої або неточної чисельної інформації. Підкреслимо, що специфіка практичного застосування засобів когнітивного моделювання в першу чергу полягає в тому, що вони орієнтовані на конкретні умови розвитку ситуацій в певній країні або місцевості. Тому спроби пристосувати до досить специфічних місцевих умов розроблені раніше засоби та технології рідко бувають ефективними.

Постановка задачі. Основні аспекти когнітивного підходу до аналізу екологічної інформації наведено в роботі [6]. В загальному випадку задача когнітивного аналізу екологічної інформації спрямована на пошук цілісного уявлення про досліджувані ситуації у просторі інформативних параметрів (індексів або індикаторів екологічного стану).

В сучасній інтерпретації когнітивний аналіз багатовимірної інформації поєднує алгоритми інтелектуального аналізу даних із широким спектром можливостей когнітивної комп'ютерної графіки [3]. Окремі дослідники використовують засоби когнітивної графіки, які не включають аналітичної складової. Когнітивне моделювання відрізняється від когнітивної графіки тим, що включає не тільки методи візуалізації даних, але і весь комплекс обробки, аналізу та систематизації даних, який йому передуює. Основна мета когнітивного моделювання – це визначення найбільш корисної інформації, яку містять досліджувані дані, тобто побудова моделей конкретних знань (наприклад, узагальнених характеристик або тенденцій).

Отже, необхідно уточнити, в якому вигляді краще представити виявлені знання, як співвіднести їх із відомим нам поняттям інформації.

Ми знаємо два підходи до визначення інформації. Перший з них лежить в основі теорії інформації і пов'язаний з ім'ям К. Шеннона. Другий підхід запропонований Р.

Фішером і відноситься до області математичної статистики. Він використовує поняття достатніх статистик, за якими можна відновити початковий розподіл даних. Так, для нормального розподілу даних достатніми статистиками є середнє арифметичне значення і вибіркова дисперсія. Загалом, інформативним слід вважати такий опис даних, який буде достатньо лаконічним, наочним і корисним для вирішення поставлених завдань. Отже, когнітивне моделювання спрямоване на розробку виразних, стислих і адекватних моделей представлення даних або знань.

Напрями когнітивного моделювання. Розглянемо детальніше два напрями когнітивного моделювання, найбільш важливі для аналізу медико-екологічних даних. До першого з них відносяться методи, орієнтовані на виявлення структури даних в просторі початкових ознак і візуальне представлення отриманих результатів (методи класифікації, кластерний аналіз, розпізнавання образів).

Другий напрямок – це пошук інформативних характеристик для побудови простору ознак. Тут йдеться про виявлення або побудову найбільш інформативних ознак, за допомогою яких можна відновити значення всіх інших і визначити залежності, що пов'язують ознаки. Зокрема, факторний аналіз дозволяє представити найбільш інформативні ознаки (фактори) у вигляді лінійних комбінацій вихідних показників. Для візуалізації простору ознак використовується ортогональне проектування даних на площину головних компонент (головних факторів).

Підкреслимо, що одним з основних результатів когнітивного моделювання вважається також наочне уявлення про внутрішню структуру вихідних даних та певні залежності, властиві цим даним. При наявності такого цілісного образу кількісні характеристики, розраховані з допомогою різних методів, грають другорядну роль як засоби подальшого аналізу візуального зображення, яке можна визначити як *екологічний портрет* досліджуваного об'єкту.

Імовірнісна модель когнітивного аналізу даних розглядається як узагальнення наших попередніх уявлень щодо процесу аналізу даних та виявлення знань, де просторово-семантичну структуру багатовимірних даних можна доповнити імовірнісними прогнозними характеристиками.

У багатьох прикладних задачах семантичне значення складної ситуації можна визначити як наявність або відсутність небезпеки. Отже, для обчислення ступеня небезпеки в семантичному просторі запропоновано визначити імовірнісну міру [4, 5]. Як відомо, поняття ризику обумовлене імовірнісним уявленням про вплив факторів середовища на стан складної системи. Величину ризику не можна вимірювати безпосередньо, а можна лише з деяким ступенем точності оцінити, використовуючи кількісні характеристики факторів ризику і дані про їхній вплив. Методи математичної статистики, засновані на теорії імовірності, дозволяють враховувати ті невизначеності, що виникають як при вимірюванні впливу негативних факторів, так і при оцінці зв'язків між впливом і ефектом.

Слід розрізняти реальний ризик і потенційний ризик. Реальний ризик звичайно визначається при оцінці вже існуючої небезпеки. Потенційний ризик указує на імовірність виникнення негативних наслідків при заданих умовах і може бути використаний для оцінки якості навколишнього середовища. Для уточнення поняття потенційного ризику нагадаємо деякі положення з теорії імовірності, наведені в [1].

Одне з вихідних понять теорії імовірності – *випадковий іспит*, під яким розуміють дію, що приводить до неоднозначного результату. Прикладом випадкового іспиту може бути медичне обстеження. Навіть при повній інформації про фактори зовнішнього середовища неможливо заздалегідь передбачити наявність конкретного захворювання для окремого індивіда. В задачах аналізу екологічних та клінічних даних випадковими іспитами будуть спостереження або результати вимірювання окремих показників.

Результат випадкового іспиту розглядається як *елементарна подія*. Такою подією може бути виявлення порушень чи патології, збільшення смертності в групі ризику тощо.

Повний набір таких подій утворює *генеральну сукупність*. Тоді будь-яка підмножина з цієї сукупності розглядається як *випадкова подія*. Імовірність випадкової події – це міра, що визначає шанс появи даної події в порівнянні з іншими можливими випадками. В даному контексті ризик визначається як імовірність появи негативних випадкових подій.

Простір ризику можна визначити в такий спосіб. Кожна імовірнісна модель описує певну множину спостережень X , де визначено розбиття $E(X)$, що утворює множину випадкових подій. На цій множині задається невід’ємна функція P , що задовольняє відомим властивостям імовірнісної міри і визначає імовірність випадкових подій з $E(X)$. Множина спостережень X , його розбиття $E(X)$ й імовірнісна міра P , задана на цьому розбитті, утворюють імовірнісний простір ризику (X, E, P) .

Якщо випадкові події складають різні наслідки впливу шкідливого фактора, то значення імовірності для можливих наслідків служать характеристиками ризику, що обумовлений даним фактором. У будь-якій конкретній ситуації імовірності окремих наслідків будуть задовольняти відомим властивостям імовірнісної міри, тобто імовірність будь-якої події невід’ємна, імовірність повної події дорівнює 1, імовірність суми непересічних подій дорівнює сумі окремих імовірностей цих подій. Наприклад, якщо можливими наслідками будуть ступені важкості конкретного захворювання, то для будь-якого ступеня важкості значення ризику потрапить в інтервал від 0 до 1, а ризик суми двох наслідків буде дорівнювати сумі двох ризиків.

Для дослідження загальних закономірностей, зв'язаних з випадковим характером показників ризику, необхідно вказати інформацію про появу різних значень цих величин у процесі виміру. Цю інформацію для випадкової величини w задають за допомогою функції розподілу імовірності $F(x)$, що для будь-якого значення x вказує імовірність того, що відповідна випадкова величина w не перевершує x . Це незменшувана функція, всі значення якої знаходяться в інтервалі $[0, 1]$.

На основі відомих методів статистичного аналізу інформації запропоновано спеціальні методи і алгоритми систематизації медико-екологічної інформації, спрямовані на виявлення імовірнісних характеристик вихідних даних та побудову семантичного простору ризику [3].

Імовірнісна модель когнітивного аналізу даних включає чотири етапи:

1. Багатовимірний статистичний аналіз простору випадкових подій (спостережень, вимірів) з метою виявлення когнітивних структур.
2. Впорядкування і візуалізація структури даних за допомогою переходу до базису меншої розмірності (факторного простору).
3. Змістовна інтерпретація нових координат і виділених подій.
4. Оцінка імовірності або ризику для кожної з виділених подій (з використанням експертних знань).

Питання, пов'язані з використанням методів багатомірного аналізу для зниження розмірності простору, змістовної інтерпретації окремих ситуацій та виявлення знань, необхідних для прийняття ефективних рішень, досить детально розглядаються в роботах [2, 4].

Підкреслимо, що виділені фактори утворюють семантичні шкали, за допомогою яких можна оцінити окремі спостереження. Кожен з факторів поєднує в собі кілька показників і утворює складну ознаку, яка узагальнює зміст окремих показників екологічного стану.

На рис. 1 показано приклад, де результати аналізу даних моніторингу техногенних забруднень представлено у вигляді семантичних шкал, побудованих за значеннями окремих показників.

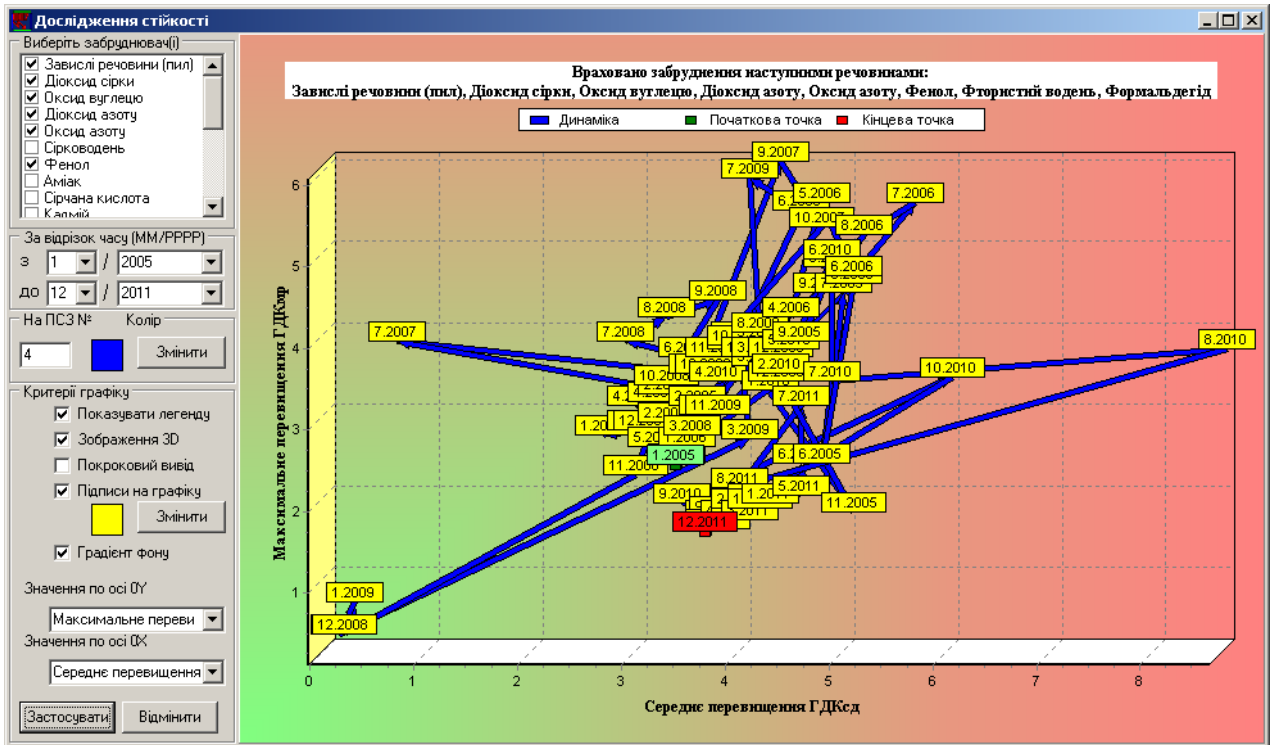


Рис. 1. Моніторинг динаміки техногенного впливу за індексом ІЗА.

Окремі спостереження позначені прямокутниками, в яких показано місяць і рік спостереження. Середньомісячні значення поєднані між собою прямими лініями, які відображують послідовність проведення вимірювань щодо перевищень граничних норм для концентрацій забруднювачів.

Отже, на рис. 1 ми бачимо траєкторію сезонних коливань рівня техногенних навантажень на досліджуваній район, побудовану за значеннями індексів забруднення атмосфери (ІЗА). Тобто цей графік враховує цілий ряд небезпечних речовин, які щомісячно вимірювались в даному районі протягом 2005 – 2011 років.

З усієї сукупності можливих подій вибираються ті події, що можуть мати якісну інтерпретацію. Як правило, на цьому етапі необхідне залучення експертних знань про предметну область, щоб виявити зв'язки між чисельними значеннями показників і тими класами, до яких потрапляють спостереження. Кожна група спостережень може бути інтерпретована як окрема категорія. В екологічних дослідженнях такі категорії найчастіше відповідають різним рівням забруднення окремих територій. В задачах аналізу медико-екологічної інформації вони інтерпретуються як певні порушення здоров'я в *групах ризику*.

Для кожного з виділених класів спостережень необхідно визначити певне значення ризику. Ступінь ризику, пов'язаний з випадковою подією, бажано оцінювати з допомогою уже побудованої системи знань (еталонних подій, або прототипів). Структурна схема аналізу даних моніторингу, спрямованого на виявлення небезпечних ситуацій з урахуванням експертних оцінок, затверджених нормативних документів та результатів математичного моделювання, показана на рис. 2.

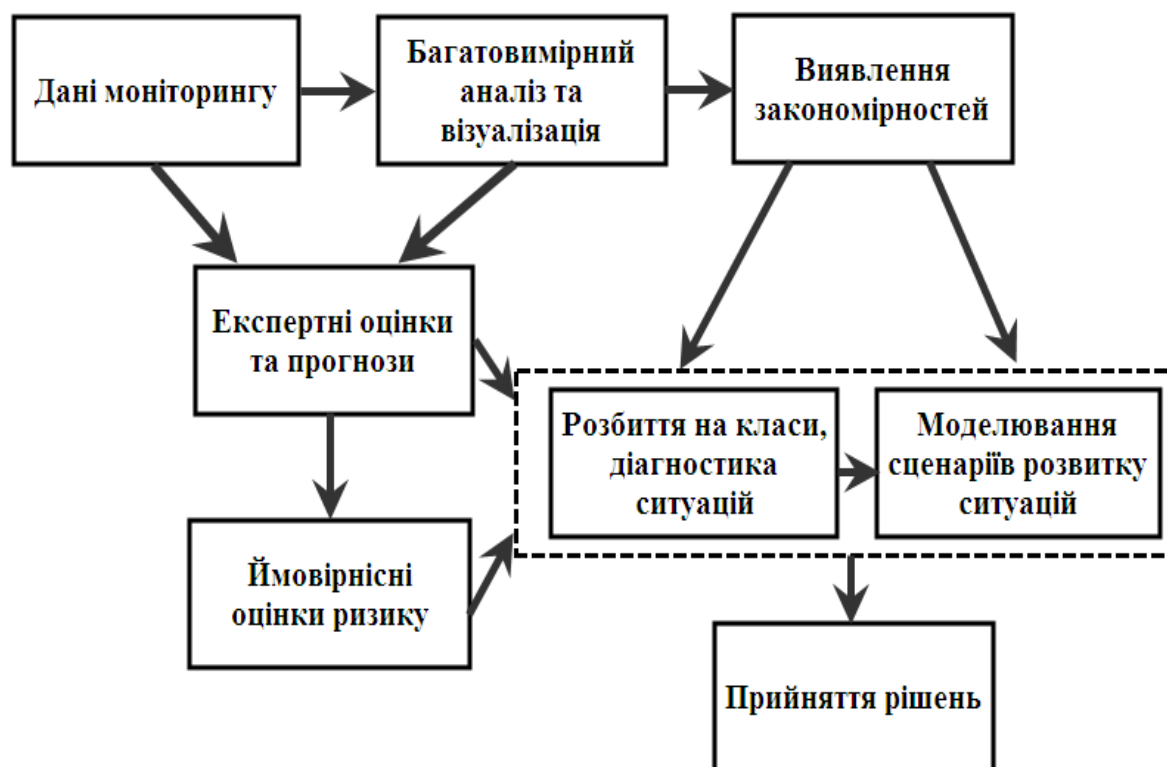


Рис. 2. Схема аналізу даних з урахуванням експертних знань

Розглянемо, наприклад, алгоритм локалізації небезпеки, що допомагає виявити зони ризику з найбільш небезпечним екологічним прогнозом. Проблему локалізації небезпеки запропоновано розглядати для двох рівнів когнітивного аналізу. Перший рівень – це виявлення територій з підвищеним ризиком. На другому рівні в межах територій з підвищеним ризиком виділяються групи високого ризику, що потребують особливої уваги.

Кожен із двох рівнів, в свою чергу, можна розділити на етапи. Першим етапом буде визначення багатовимірних індексів для навантажень в зонах C_i , які в даному прикладі розраховуються за значеннями трьох факторів забруднення: $In(C_i) = (F_1, F_2, F_3)$, $i = 1, 2, \dots, K$.

Етап 1. На основі багатовимірних індексів екологічного стану виявляються території з підвищеним техногенним навантаженням, де $In(C_i)$ показує перевищення встановлених норм.

Етап 2. Наступний етап локалізації небезпеки включає визначення оцінок екологічного ризику у виділених зонах. Для оцінки екологічного ризику необхідно врахувати екологічні властивості даної місцевості (типи ґрунтів, методи їх використання тощо) і побудувати екологічні прогнози для певних інтервалів часу. На основі цих прогнозів визначається обсяг можливих втрат. Оцінка екологічного ризику включає імовірність небажаної події і розмір тих втрат, що її супроводжують: $R(C_i) = P(C_i) L(C_i)$.

Етап 3. За допомогою подібних розрахунків можна встановити територіальний розподіл небезпеки та виявити найбільш небезпечні території, де ризик $R(C_i)$ приймає максимальні значення.

На другому рівні локалізації небезпеки в межах зазначених територій ризику необхідно виявити ті групи ризику, що можуть максимально постраждати від техногенних навантажень. Виявлення груп ризику базується на відомій методиці оцінки індивідуального ризику, розробленій ЕРА і адаптованій в багатьох країнах світу [1].

Для того, щоб визначити екологічний статус певного підприємства

теплоенергетики (зокрема, ТЕЦ) необхідно визначити екологічний ризик як для нормальних умов його експлуатації, так і для аварійних ситуацій, що супроводжуються викидами небезпечних речовин. Якщо для нормальних умов ризик розраховується на основі інтегральних індексів фонових забруднень, то для можливих аварій різного масштабу оцінюються значення потенційного ризику, що включають розміри втрат.

Висновок. Запропоновано та розроблено узагальнену імовірнісну модель когнітивного аналізу даних, що включає наступні складові: імовірнісно-семантичну модель предметної області, алгоритми когнітивного аналізу даних з різних джерел, засоби виявлення нових знань та представлення одержаних результатів. Запропоновану модель адаптовано до ряду практичних задач в галузі екологічної безпеки.

1. Большаков А.М. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения / А.М.Большаков, В.Н. Крутько, Е.В. Пуцилло. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 256 с.
2. Витяев Е.Е. Извлечение знаний из данных. Компьютерное познание. Модели когнитивных процессов / Е.Е. Витяев – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2006. – 293 с.
3. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика / А.А. Зенкин – М.: Наука, 1991. – 192 с.
4. Каменева И.П. Вероятностные модели репрезентации знаний в интеллектуальных системах принятия решений / И.П.Каменева // Искусственный интеллект. – 2005. – № 3. – С. 399 – 409.
5. Каменева И.П. Просторово-семантичні моделі репрезентації знань в геоecологічних дослідженнях / І.П. Каменева // Геоінформатика. – 2005. – № 4. – С. 64 – 69.
6. Каменева И.П. Когнитивный подход к анализу многомерной медико-экологической информации / И.П. Каменева // Моделирование та інформаційні технології. – 2010. – Вип. 56. – С. 3-10.
7. Максимов В.И. Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений / В.И. Максимов, Е.К. Корноушенко, С.В. Качаев // Режим доступа : <http://www.iis.ru/events/19981130/maximov.ru>.
8. Сікора Л.С. Когнітивні моделі та логіка когнітивного управління в ієрархічних інтегрованих системах в умовах ризику / Л.С. Сікора – Львів: ЦСД «ЕБТЕС», 2009. – 432 с.

И.П. Каменева, В.А. Артемчук, А.В. Яцишин

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ КОГНИТИВНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ МОНИТОРИНГА В ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Предложена и разработана обобщенная вероятностная модель когнитивного анализа данных, включающая следующие составляющие: вероятностно-семантическую модель предметной области, алгоритмы когнитивного анализа данных из различных источников, средства обнаружения новых знаний и представления полученных результатов. Предложенная модель адаптирована к ряду практических задач в области экологической безопасности.

I.P. Kamenev, V.A. Artemchuk, A.V. Yatsishin

PROBABILISTIC MODELS FOR COGNITIVE ANALYSIS DATA MONITORING PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL SECURITY

Proposed and developed a generalized probabilistic model of the cognitive analysis of the data, including the following components: probabilistic and semantic domain model, cognitive algorithms analyze data from a variety of sources, means of detection of new knowledge and understanding of the results. The proposed model is adapted to a number of environmental safety of practical problems.