

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

ISSN 2522-1892

Науково-технічний журнал
«ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА»

Scientific and technical journal
«TECHNOGENIC AND ECOLOGICAL SAFETY»

Випуск 3(1/2018)

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ №22536-12436 Р від 01.03.2017

Затверджено до друку вченою радою
НУЦЗ України (протокол № 5 від 26.01.2018)

Харків
2018

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

В. П. Садковий д. держ. упр., проф. (голова редакційної колегії)
В. А. Андронов д. т. н., проф. (заступник голови редакційної колегії)
В. В. Вамболь д. т. н., доц. (головний редактор)
Н. В. Дейнеко к. т. н. (відповідальний секретар)

С. І. Азаров д. т. н., с. н. с.
С. О. Вамболь д. т. н., проф.
М. М. Дівізінюк д. ф.-м. н., проф.
О. І. Запорожець д. т. н., проф.
О. О. Кіреєв д. т. н., доц.
М. В. Новожилова д. ф.-м. н., проф.
Б. Б. Поспелов д. т. н., проф.
О. М. Соболев д. т. н., с. н. с.

В. В. Тютюник д. т. н., с. н. с.
С. Д. Цибуля д. т. н., доц.
І. А. Чуб д. т. н., проф.
В. М. Шмандий д. т. н., проф.
П. Г. оглы Сулейманов д. філос. (Азербайджан. Респ.)
Л. Ф. Коженевски д. е. н., проф. (Польща)
В. Радулеску д. філос., доц. (Румунія)
Т. Лях д. с.-х. н., проф. (Респ. Молдова)

EDITORIAL BOARD

V. Sadkoviy DSc, Professor (Chairman of Editorial Board)
V. Andronov DSc, Professor (Deputy Chairman of Editorial Board)
V. Vambol DSc, Associate Professor (Editor-in-Chief)
N. Deyneko PhD (Executive Secretary)

S. Azarov DSc, Senior Researcher
S. Vambol DSc, Professor
M. Divizinyuk DSc, Professor
A. Zaporozhets DSc, Professor
A. Kireev DSc, Associate Professor
M. Novozhilova DSc, Professor
B. Pospelov DSc, Professor
A. Sobol DSc, Senior Researcher

V. Tiutiunik DSc, Senior Researcher
S. Tsybulia DSc, Associate Professor
I. Chub DSc, Professor
V. Shmandiy DSc, Professor
P. Suleymanov PhD (Republic of Azerbaijan)
L. Korzeniowski DSc, Professor (Poland)
V. Radulesku PhD, Associate Professor (Romania)
T. Leah DSc, Professor (Republic of Moldova)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В. П. Садковой д. гос. упр., проф. (глава редакционной коллегии)
В. А. Андронов д. т. н., проф. (заместитель главы редакционной коллегии)
В. В. Вамболь д. т. н., доц. (главный редактор)
Н. В. Дейнеко к. т. н. (ответственный секретарь)

С. И. Азаров д. т. н., с. н. с.
С. А. Вамболь д. т. н., проф.
М. М. Дивизинюк д. ф.-м. н., проф.
А. И. Запорожец д. т. н., проф.
А. А. Киреев д. т. н., доц.
М. В. Новожилова д. ф.-м. н., проф.
Б. Б. Поспелов д. т. н., проф.
А. Н. Соболев д. т. н., с. н. с.

В. В. Тютюник д. т. н., с. н. с.
С. Д. Цибуля д. т. н., доц.
И. А. Чуб д. т. н., проф.
В. М. Шмандий д. т. н., проф.
П. Г. оглы Сулейманов д. филос. (Азербайджан. Респ.)
Л. Ф. Коженевски д. э. н., проф. (Польща)
В. Радулеску д. филос. доц. (Румыния)
Т. Лях д. с.-х. н., проф. (Респ. Молдова)

УДК 504.064.36

Б. Б. Поспелов, д. т. н., проф., науч. сотр.
В. А. Андронов, д. т. н., проф., проректор
 Национальный университет гражданской защиты Украины
 ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023

МОДЕЛИ КАЧЕСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПО РЕАЛЬНЫМ ДАННЫМ МОНИТОРИНГА

Представлена обобщенная математическая модель качества обнаружения экологической опасности по реальным данным мониторинга объектов. Данная модель базируется на таких важных параметрах обнаружения экологической опасности как текущие априорные вероятности наличия и отсутствия экологической опасности на объекте, средний риск обнаружения экологической опасности, вероятности правильного и ложного обнаружения экологической опасности, а также стоимости ошибочных решений, связанных с ее пропуском и ложным обнаружением. На основе обобщенной модели предложена частная упрощенная модель качества обнаружения экологической опасности по реальным данным мониторинга объектов в условиях неопределенности, связывающая средний риск ошибочных решений с вероятностями правильного и ложного обнаружения экологической опасности. Данная модель может быть использована на практике для определения базовых показателей качества обнаружения экологической опасности по данным мониторинга объектов в условиях неопределенности.

Ключевые слова: математическая модель, качество обнаружения экологической опасности объектов, данные мониторинга.

Постановка проблемы. Важным фактором обеспечения экологической безопасности государства является способность своевременно обнаруживать и предотвращать опасные состояния объектов техногенной и природной сферы. Это является актуальной и достаточно сложной многоплановой проблемой, имеющей экологический, технологический и экономический аспекты. Большая региональная нагрузка территории Украины мощными промышленными и энергетическими объектами (в 2015 г. функционировало 9919 объектов повышенной опасности), наличие старого оборудования, используемого на объектах повышенной опасности, отсутствие систем раннего обнаружения опасных ситуаций повышают риск аварий и экологической опасности, убытки от которых можно сравнить с размером национального бюджета среднего государства [1].

При этом важным в решении рассматриваемой проблемы является обеспечение не только своевременного, но и надежного (достоверного) обнаружения экологической опасности на основе реальных данных мониторинга с целью принятия соответствующих эффективных воздействий для устранения угрозы. Особое место при этом отводится математическим моделям качества обнаружения экологической опасности.

Анализ последних исследований и публикаций. В большом числе публикаций, посвященных проблематике обнаружения экологической опасности объектов и экологического риска, отмечается, что в настоящее время в программах мониторинга экологического состояния различных объектов делается упор на получение данных с использованием технических измерительных средств дистанционного наблюдения в режиме реального времени [2–5]. Однако возникновение любой

экологической опасности на реальных объектах является событием случайным [6].

По этой причине получаемые с помощью технических средств экологического мониторинга данные о текущем экологическом состоянии объектов и возможном развитии экологической опасности во времени и пространстве, должны рассматриваться в виде реализаций случайных процессов. При этом решение об обнаружении экологической опасности по реальным данным мониторинга носит вероятностный характер. Это порождает проблему оценки качества такого решения. Несмотря на особую важность [7], проблема оценки качества решения об обнаружении экологической опасности по реальным данным мониторинга в литературе экологической направленности до настоящего времени практически не рассматривается.

Вместе с тем, в работах [8–10] развивается подход, базирующийся на использовании результатов классической теории обнаружения при решении задачи качества обнаружения чрезвычайных ситуаций и загораний на объектах. Для оценки качества обнаружения загораний пожарными извещателями, наряду с традиционными показателями и параметрами, предлагается использовать для извещателей рабочие характеристики и характеристики обнаружения, количественно характеризующие качество обнаружения загораний извещателями в различных условиях их применения.

Развитию конструктивных направлений повышения оперативности и достоверности обнаружения возгораний на объектах посвящены работы [11–13].

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является рассмотрение моделей качества обнаружения экологической опасности по реальным

данным мониторинга на основе классической задачи проверки двух статистических гипотез.

Вне зависимости от конкретного способа получения данных экологического мониторинга решение об обнаружении экологической опасности выносится на основе сравнения данных с принятым пороговым (допустимым) уровнем. В случае оценки динамики экологической опасности текущие данные мониторинга сравниваются с несколькими пороговыми значениями, характеризующими соответствующие допустимые уровни опасности.

Далее для определенности будем рассматривать случай сравнения с одним порогом – классическая задача обнаружения экологической опасности. В этом случае решение принимается при двух взаимно исключающих условиях, характеризующих наличие и отсутствие экологической опасности: «экологическая

опасность есть» – H_1 , «экологической опасности нет» – H_0 . Вследствие случайного характера ситуации и реальных данных экологического мониторинга указанные решения будут приниматься с ошибками, поскольку истинное состояние опасности остается неизвестным. В этом случае решения об экологической опасности могут быть только предположительными (в виде соответствующих гипотез), а именно: «экологическая опасность есть» – H_1^* , «экологической опасности нет» – H_0^* . В результате такого решения можно предложить обобщенную схему обнаружения экологической опасности по реальным данным мониторинга, которая имеет вид, изображенный на рисунке 1.

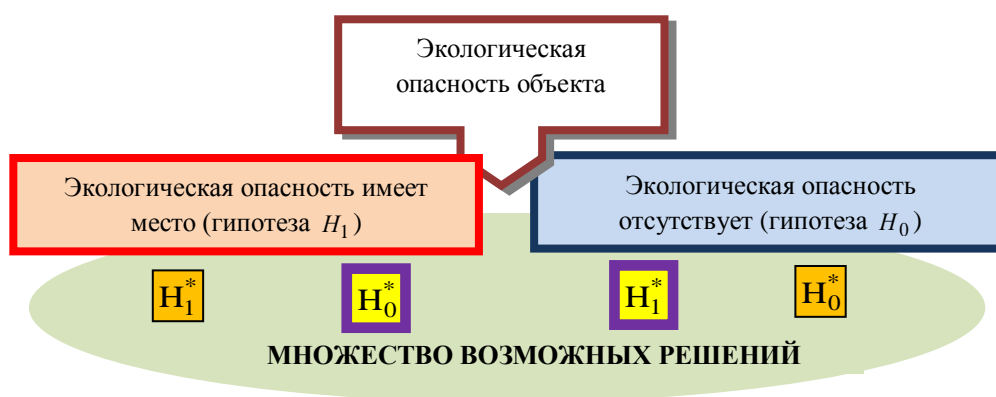


Рисунок 1 – Обобщенная схема обнаружения экологической опасности

Анализ схемы на рисунке 1 свидетельствует о том, что при обнаружении экологической опасности по данным мониторинга возможны как ошибочные, так и правильные решения. Ошибочные решения возникают в двух случаях, соответствующих фактическому отсутствию и наличию экологической опасности. Они называются соответственно:

– *ложное обнаружение*, когда принимается решение о наличии экологической опасности при ее фактическом отсутствии;

– *пропуск*, когда принимается решение об отсутствии экологической опасности при ее фактическом наличии.

При этом существуют и два вида правильных решений, соответствующих также фактическому наличию и отсутствию экологической опасности, которые соответственно называются:

– *правильное обнаружение*, когда принимается решение о наличии экологической опасности при ее фактическом наличии;

– *правильное необнаружение*, когда принимается решение об отсутствии экологической опасности при ее фактическом отсутствии.

При этом каждый из рассмотренных выше случаев характеризуется безусловной вероятностью, которая в соответствии с теоремой

умножения вероятностей может быть представлена в следующем виде:

Безусловная вероятность правильного обнаружения экологической опасности

$$P(H_1^*, H_1) = P(H_1)P(H_1^*/H_1). \quad (1)$$

Безусловная вероятность ложного обнаружения экологической опасности

$$P(H_1^*, H_0) = P(H_0)P(H_1^*/H_0). \quad (2)$$

Безусловная вероятность правильного необнаружения экологической опасности

$$P(H_0^*, H_0) = P(H_0)P(H_0^*/H_0). \quad (3)$$

Безусловная вероятность пропуска экологической опасности

$$P(H_0^*, H_1) = P(H_1)P(H_0^*/H_1). \quad (4)$$

В выражениях (1)–(4) $P(H_1)$ и $P(H_0)$ – априорные вероятности наличия и отсутствия экологической опасности на объекте, а $P(H_1^*/H_1)$,

$P(H_1^*/H_0)$, $P(H_0^*/H_0)$ и $P(H_0^*/H_1)$ – соответствующие условные вероятности решений, вычисленные в предположении фактического наличия и отсутствия экологической опасности. Обычно эти вероятности принято называть апостериорными.

Определить безусловные вероятности (1) – (4) можно, если известны априорные и апостериорные вероятности. Априорные вероятности $P(H_1)$ и $P(H_0)$ в принципе могут быть определены по известным предварительным статистическим или другим данным о предполагаемом текущем состоянии объектов и окружающей среды. Эти вероятности аккумулируют информацию о появлении и отсутствии экологической опасности объектов в прошлом. Если такая информация отсутствует, то возникает так называемая априорная трудность обнаружения экологической опасности. В этом случае можно, по-видимому, считать, что отсутствие или наличие экологической опасности на объекте является равновероятным $P(H_1) = P(H_0) = 0,5$. Такое предположение можно считать справедливым для особо опасных объектов.

Апостериорные вероятности решений можно определить на основе эмпирических функций плотности распределения вероятностей по статистическим данным мониторинга экологической опасности и используемым порогам при принятии решения. Пусть $p_1(x)$ и $p_0(x)$ представляют собой плотности распределения вероятности данных экологического мониторинга для заданного временного интервала соответственно в случае наличия и отсутствия экологической опасности на объекте. Часто в качестве аргумента x в этих распределениях понимают нормированное значение U случайных данных мониторинга по отношению к среднему значению возмущений σ , т. е. $x = U / \sigma$.

Будем полагать, что величина x_0 определяет относительную величину порога обнаружения опасности (или оценивания ее соответствующего уровня). Это означает, что величина $x_0 = U_0 / \sigma$, где U_0 – абсолютная величина порога обнаружения. С учетом этого апостериорные вероятности, характеризующие качество обнаружения экологической опасности, могут быть определены в соответствии с выражениями.

1. Вероятность правильного обнаружения экологической опасности D при заданном пороге x_0 будет определяться величиной

$$P(H_1^* / H_1) = D = \int_{x_0}^{+\infty} p_1(x) dx . \quad (5)$$

2. Вероятность пропуска экологической опасности \bar{D} при заданном пороге x_0 будет определяться величиной

$$P(H_0^* / H_0) = \bar{D} = \int_0^{x_0} p_1(x) dx . \quad (6)$$

3. Вероятность ложного обнаружения экологической опасности F при заданном пороге x_0 будет определяться величиной

$$P(H_1^* / H_0) = F = \int_{x_0}^{+\infty} p_0(x) dx . \quad (7)$$

4. Вероятность правильного необнаружения экологической опасности \bar{F} при заданном пороге x_0 будет определяться величиной

$$P(H_0^* / H_0) = \bar{F} = \int_0^{x_0} p_0(x) dx . \quad (8)$$

Учитывая, что интеграл от функций плотности вероятности в бесконечных пределах равен единице, для (5) – (9) будут справедливы очевидные соотношения:

$$D + \bar{D} = 1 \text{ и } F + \bar{F} = 1 . \quad (9)$$

Следуя (5) – (9), из четырех параметров, характеризующих качество обнаружения экологической опасности, независимыми являются только D и F ; \bar{D} и \bar{F} . Любая пара этих величин может быть принята за исходную характеристику количественных показателей качества обнаружения (оценивания уровня) экологической опасности по данным мониторинга.

Например, показатели качества D и F обнаружения экологической опасности являются противоречивыми. Естественным требованием при обнаружении экологической опасности по реальным данным мониторинга является обеспечение максимальной вероятности D правильного обнаружения и минимальной вероятности F ложного обнаружения. Однако при реализуемом пороговом принципе обнаружения экологической опасности удовлетворить одновременно этим требованиям невозможно. Объясняется это тем, что для увеличения D (5) необходимо уменьшать величину порога x_0 , в то время как для уменьшения F (7) величину порога необходимо увеличивать.

Обычно реальные условия обнаружения экологической опасности по данным мониторинга объектов характеризуются большим разнообразием. Поэтому качество обнаружения целесообразно рассматривать в среднем для совокупности возможных условий с учетом стоимости ошибочных решений.

Пусть стоимость ложного обнаружения экологической опасности определяется величиной r_F , а стоимость пропуска – r_D . Тогда средняя стоимость ошибочных решений (средний риск обнаружения экологической опасности)

$$R = r_F P(H_0) + r_D \bar{D} P(H_1). \quad (10)$$

Учитывая (9) выражение (10) может быть представлено в виде:

$$R = r_D P(H_1) \{1 - [D - l_0 F]\}, \quad (10)$$

где $l_0 = r_F P(H_0) / r_D P(H_1)$ - весовой множитель. Из выражения (10) следует, что в общем случае повышение качества обнаружения экологической опасности на объекте в среднем (уменьшение среднего риска) связано с увеличением величины $D - l_0 F$, которая зависит от реализуемых показателей качества обнаружения экологической опасности, априорных данных о наличии и отсутствии экологической опасности, а также стоимости соответствующих ошибочных решений. Если решение об обнаружении экологической опасности по реальным данным мониторинга осуществляется с помощью технических средств, то те средства, для которых величина $D - l_0 F$ будет иметь большее значение, будут в среднем обеспечивать и лучшее качество обнаружения экологической опасности.

Выражение (10) совместно с (5) – (8) определяют обобщенную модель качества обнаружения экологической опасности на объекте. Полученная обобщенная модель теоретически обоснована и связывает такие важные параметры обнаружения как априорные вероятности наличия и отсутствия экологической опасности на объекте (информацию о прошлом экологической опасности), средний риск обнаружения, а также реализуемые показатели качества обнаружения в виде вероятностей правильного и ложного обнаружения экологической опасности и стоимостей ее ложного обнаружения и пропуска.

Часто в реальных условиях мониторинга экологической опасности на объекте в текущий момент времени отсутствует информация о ее истории – $P(H_0) = P(H_1) = 0,5$. При этом бывает трудно оценить и стоимость (риск) ошибочных решений. Действительно, как оценить потери, связанные с ложным обнаружением и пропуском экологической опасности на объекте? Как оценить количественно результаты паники среди населения, вызванной ложным обнаружением экологической опасности, или притупления бдительности

аварийных и спасательных служб и подразделений? В каких единицах можно измерить человеческие жертвы и разрушения, вызванные пропуском экологической опасности и ее последствиями? Отсутствие данных о стоимости потерь в ряде случаев приводит к необходимости полагать, что $r_D = r_F = 1$. При этих условиях $l_0 = 1$ и тогда обобщенная модель (10) упрощается

$$R = 0,5\{1 - [D - F]\}. \quad (11)$$

Модель (11) можно принять в качестве частной упрощенной и использовать ее при ориентировочных расчетах количественных показателей качества (D и F) обнаружения экологической опасности по реальным данным мониторинга объектов в условиях неопределенности. Данная модель определяет средний риск от возможных ошибок обнаружения экологической опасности, который, следуя (11), является функционалом соответствующих плотностей распределения вероятности данных мониторинга и используемого порога. Из выражения (11) следует, что для обеспечения нулевого среднего риска при обнаружении экологической опасности (максимального качества обнаружения опасности) на объектах в условиях неопределенности разность вероятностей правильного и ложного обнаружения (D и F) экологической опасности должна стремиться к единице.

Выводы. Таким образом, на основе известного статистического подхода обоснована обобщенная математическая модель качества обнаружения экологической опасности по реальным данным мониторинга объектов. Данная модель связывает такие важные параметры обнаружения экологической опасности как текущие априорные вероятности наличия и отсутствия экологической опасности на объекте, средний риск обнаружения экологической опасности, вероятности правильного и ложного обнаружения экологической опасности, а также стоимости ошибочных решений, связанных с пропуском и ложным обнаружением экологической опасности.

На основе обобщенной модели предложена частная упрощенная модель качества обнаружения экологической опасности по реальным данным мониторинга объектов, определяющая связь среднего риска ошибочных решений, с вероятностями правильного и ложного обнаружения экологической опасности. Упрощенная модель может быть использована на практике для ориентировочного определения показателей качества обнаружения экологической опасности по реальным данным мониторинга объектов в условиях неопределенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2015 рік. – К.: Укр. НДЦЗ ДСНС України, 2016. – 356 с.
2. От оценки состояния природной среды методами дистанционного зондирования Земли к обеспечению устойчивого развития общества [Текст] / В. И. Волошин, Е. И. Бушуев, А. Г. Шапарь и др. // Космічна наука і технологія. – К.: НАН України, 2006. – Т. 12. – № 2/3. – С. 70–78.

3. Посудін, Ю. І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища [Текст] / Ю. І. Посудін. – К.: Світ, 2003. – 285 с.
4. Шовенгердт, Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений [Текст] / Р. А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
5. Mashkov, O. Geoinformation and aerospace technologies for information from satellite processing: environmental monitoring [Text] / O. Mashkov, V. Vasilyev, V. Frolov // Екологічні науки: наук.-практ. журн. – К.: ДЕА, 2013. – № 2/2013(4). – С. 107–113.
6. Kishore, K. Das. Development of New Probability Model with Application in Drinking Water Quality Data [Text] / K. Das Kishore, Das Bhanita, K. Baruah Bhupen et al. // Advances in Applied Science Research. – 2011. – 2(4). – P. 306–313.
7. Lindenmayera, D. B. Improved probability of detection of ecological «surprises» [Text] / D. B. Lindenmayera, G. E. Likensa, C. J. Krebsc et al. // PNAS. – December 21, 2010. – Vol. 107. – № 51. – P. 21957–21962.
8. Поспелов, Б. Б. Выбор показателей качества и критерии оптимизации современных систем раннего обнаружения чрезвычайных ситуаций [Текст] / Б. Б. Поспелов, Р. И. Шевченко, А. Е. Басманов, А. А. Федцов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗ України, 2012. – Вип. 15. – С. 122–131.
9. Поспелов, Б. Б. Рабочие характеристики пожарных извещателей систем пожарной автоматики [Текст] / Б. Б. Поспелов, Р. И. Шевченко // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗ Украины, 2012. – Вып. 32. – С. 166–173.
10. Поспелов, Б. Б. Метод определения рабочих характеристик для групповых пожарных извещателей систем пожарной автоматики [Текст] / Б. Б. Поспелов, Р. И. Шевченко // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗ Украины, 2013. – Вып. 33. – С. 136–146.
11. Andronov, V. Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors [Text] / V. Andronov, B. Pospelov, E. Rybka // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 2. – Issue 9 (86). – P. 32–37. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.96694.
12. Andronov, V. Examining the learning fire detectors under real conditions of application [Text] / V. Andronov, B. Pospelov, E. Rybka, S. Skliarov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3. – Issue 9(87). – P. 53–59. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.101985.
13. Pospelov, B. Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition [Text] / B. Pospelov, V. Andronov, E. Rybka, S. Skliarov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4. – Issue 9(88). – P. 53–59. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.108448.

Стаття надійшла до редакції 26.10.17 р.

Б. Б. Поспелов, В. А. Андронов

МОДЕЛЬ ЯКОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПО РЕАЛЬНИХ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ

Представлена узагальнена математична модель якості виявлення екологічної небезпеки за реальними даними моніторингу об'єктів. Модель, що пропонується, базується на таких важливих параметрах виявлення екологічної небезпеки об'єктів за реальними даними моніторингу як поточні апріорні ймовірності наявності і відсутності екологічної небезпеки на об'єкті, середній ризик виявлення екологічної небезпеки, ймовірності правильного та помилкового виявлення екологічної небезпеки, а також вартості помилкових рішень, пов'язаних з пропуском і помилковим виявленням. На основі узагальненої моделі запропонована спрощена модель якості виявлення екологічної небезпеки за реальними даними моніторингу об'єктів, що визначає зв'язок середнього ризику помилкових рішень, з вірогідністю правильного і помилкового виявлення екологічної небезпеки. Спрощена модель може бути використана на практиці для орієнтовного визначення базових показників якості виявлення екологічної небезпеки за реальними даними моніторингу об'єктів в умовах не визначення.

Ключові слова: математична модель, якість виявлення екологічної небезпеки об'єктів, дані моніторингу.

B. Pospelov, V. Andronov

MODEL OF QUALITY OF DETECTION OF ENVIRONMENTAL HAZARDS USING REAL DATA OF MONITORING

Development of quality models of environmental hazard detection for real data monitoring in the form of the problem of testing two statistical hypotheses. Well-known methods and the results of solving the problem of testing two statistical hypotheses using in relation to the problem of detection of environmental hazard according to monitoring by technical means. Propose a generalized mathematical model of quality environmental hazard detection. On the basis of the generalized model have proposed the simplified model of the quality of detection of environmental hazards on the monitoring data. The generalized model is based on the current priori probability of the presence and absence of environmental hazards, on the average risk of environmental hazard detection, on the probability of correct and false detection of danger, as well as the cost of wrong decisions related to the pass, and false detection. Simplified model determines the relationship of average risk of erroneous decisions, with the probabilities of correct and false detection of environmental hazards. The models can be used in practice for assessing and determining of basic indicators of the quality of detection of environmental hazard according to monitoring real objects.

Keywords: mathematical model, the quality of detection of environmental hazards objects monitoring data.

UCD 504.3.054

C. M. Balaceanu, PhD, Engineer of Department of Air Quality Protection
Institute for Study and Power Engineering

B-dul Lacul Tei, no. 1-3, Bucharest, Romania, 020371

G. Iordache, Geographer of Department of Archeology

National Research and Development Institute for Marine Geology and Geoecology
23-25 Dimitrie Onciul Street, Bucharest, Romania, 024053

**ASSESSMENT OF THE AIR POLLUTION AT THE INDUSTRIAL STATIONS
IN METROPOLITAN AREA OF BUCHAREST**

The assessment of the level of NO_x concentration in industrial stations Titan, Berceni and Drumul Taberei from Bucharest urban area is the aim of this paper. The study has been performed for the all the four seasons: winter, spring, summer and autumn, for year 2015. In this study it was take in consideration the variation of pressure, temperature, meteorological parameters across the year. The measurement shows that the highest NO_x concentrations occur in the winter and autumn periods, due to unfavorable meteorological dispersion conditions and due to the traffic and operation of thermal power plants in the cold seasons. These thermal power plants, in Bucharest, operate on natural gas, because plants have been refurbished. Generally, the results show that the industrial stations are the main contribution when the NO_x exceed the limit value, according to Law 104/2011. This exceeded of limit value together with meteorological condition and development of industry affect the human health, affect vegetation. This type of study of spatial and temporal variability of pollutant concentrations allows evaluating the requirements of air quality models to represent the key effects.

Keywords: pollutants, spatial and temporal variability, industrial, meteorological conditions.

1. Problem statement and Analysis of the recent researches and publications

Air pollution was first perceived as a local problem in urban industrialized areas, hence taller smoke-stacks for industries and power plants were a ready solution.

The largest source of pollution in most urban areas is represented by the industrial sources and road traffic. In urban areas, where the population is very numerous and the traffic is relatively high, the exposure of people to the concentrations related traffic is significant [1].

Industrial revolution represents the threshold from which the level of pollution grew fast as a result of increased energy needed for the production of steam power engine. In the 19th century, coal became the main used fuel causing a significant increase in smoke and ash released into atmosphere [2].

Air pollution is mainly a wintertime problem related to stagnant meteorological conditions during synoptic high-pressure situations. Limit levels of NO_x in Romania are also defined in the Law 104/2011 which relates to air quality [3].

The aim of our paper is to assess the concentration levels of NO_x for year 2015 at industrial station stations Titan, Berceni and Drumul Taberei from Bucharest urban area. The characteristics of the site and the data from industrial stations used were presented in *Section 2*. The assessments of the level of pollution taking account of meteorological data are presented in *Section 3*. In final of the paper some conclusions were presented.

2. Statement of the problem and its solution

2.1. Data

Bucharest is Romania's capital and at the same time the largest city and the main political, administrative, economic, financial, banking, educational, scientific and cultural Centre in Romania.

The city of Bucharest is located in the southern part of Romania, with a population of 1.92 million permanent residents. The city is situated at an altitude of 60...90 m, the rivers Dambovita and Colentina, 44°25'50" north latitude (as Belgrade, Geneva, Bordeaux, Minneapolis) and 26°06'50" east longitude (as Helsinki or Johannesburg), about 60 km from the Danube, 100 km and 250 km from the Carpathians to the Black Sea.

2.2. Characterizing of stations for measurements

In Bucharest area are eight automatic stations for monitoring air quality. These stations are: 2 traffic stations (Cercul Militar and Mihai Bravu), 3 industrial stations (Titan, Berceni and Drumul Taberei), 1 urban background station (Environmental Protection Agency) and 2 regional background stations (Balotesti and Magurele). Figure 1 present the distribution of the air quality monitoring stations from Bucharest [4].

The study has been performed for evaluation of the air quality at the industrial stations (Titan, Berceni and Drumul Taberei) for all the four seasons: winter, spring, summer and autumn, for year 2015. In this study it was take in consideration the variation of pressure, temperature, meteorological parameters across the year.

2.3. Characterizing of meteorological data

Bucharest climate is moderate continental, with an average annual temperature 10...11 °C; western and southern influences explains the long and warm autumns, of mild winter days of early springs. The average monthly temperature records lowest in January, with an average of -3 °C. Summer is very hot in July the average temperature is 23 °C, sometimes even reach 35...40 °C. Rainfall is low, averaging 585 mm per year, but higher flow summer: the highest monthly average amounts of rainfall in June (about 85 mm), and lowest in March (15 mm).

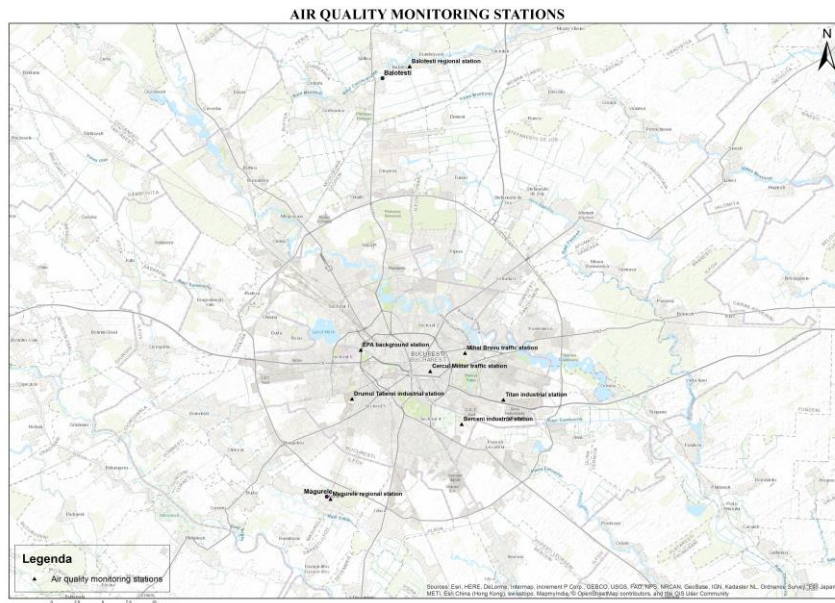


Figure 1 – The distribution of six measurement stations in Bucharest

Distribution of annual wind rose for three industrial automatic stations is represented in figure 2, 3 and 4 [5].

From the analysis of wind rose diagram for industrial Berceni and Titan stations the predominant

wind direction is from North West and South East and from North to South East.

From the analysis of wind rose diagram for industrial Drumul Taberei the predominant wind direction is from north-east to south-west.

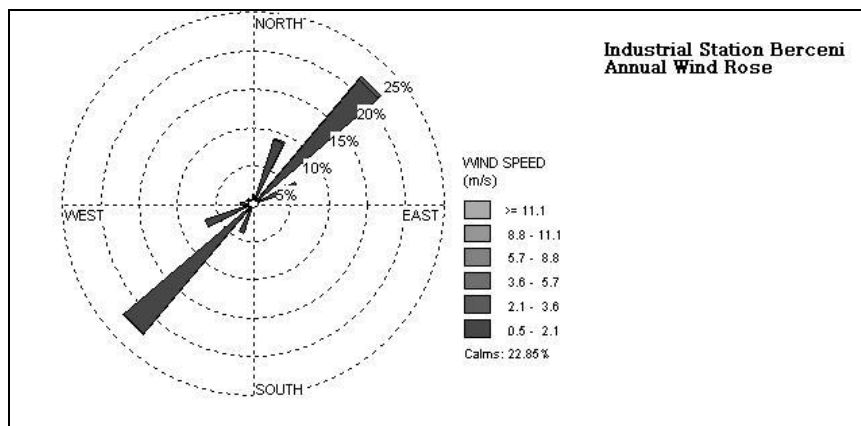


Figure 2 – Annual wind rose at Station Berceni

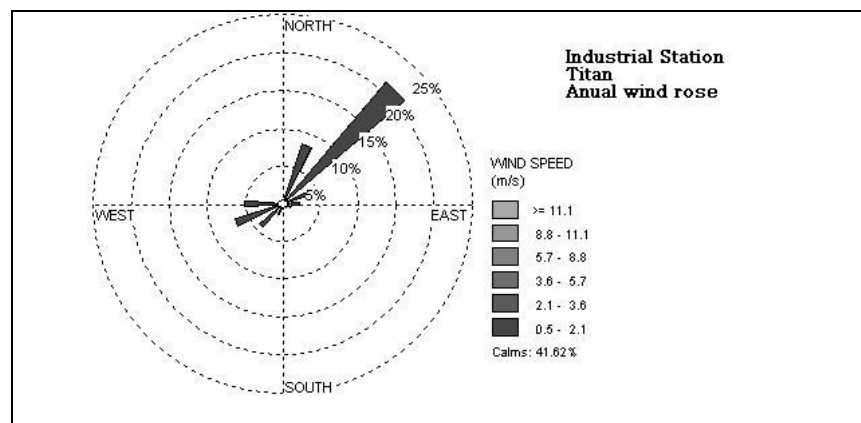


Figure 3 – Annual wind rose at Station Titan

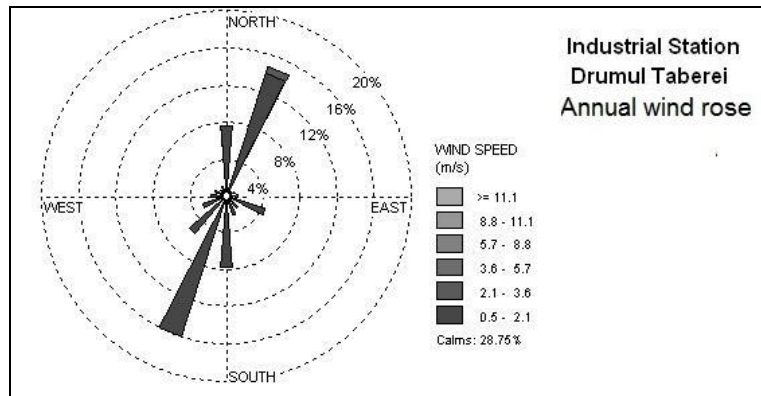


Figure 4 – Annual wind rose at Station Drumul Taberei

3. Results and discussions

3.1. Description of power plant across from industrial monitoring stations

Power plants are major sources of air pollution in Bucharest, through the operation mode with liquid fuels witch having a high sulfur content, spilling into the atmosphere large quantities of SO_2 , NO_x , CO , CO_2 , dust, smoke, fly ash [6].

In this article the pollution sources is represented by the power plants close to industrial monitoring stations (Berceni, Titan and Drumul Taberei). This power plants are: South Power Plant close to automatic monitoring stations Titan, Progresu Power Plant close to automatic monitoring station Berceni and Power Plant Grozavesti close to automatic monitoring station Drumul Taberei. These power plants works on natural gas, and the resulting pollutant from combustion is nitrogen oxides [7].

3.2. Analysis of NO_x concentration measured at automatic monitoring station in winter, spring, summer and autumn

Titan industrial station is located in the east of Bucharest. The following figures show the variation of NO_x concentrations measured at industrial automatic station Titan (pollutions from Power Plant South, residential sources (residential heating and traffic)).

Winter season (figure 5): limit value is exceeded in all the winter months, the limit is $30 \mu g/m^3$. It recorded large increases in December and February; the amount goes up to $280 \mu g/m^3$. For the spring season (figure 6), the highest value is over $100 \mu g/m^3$ and recorded in March, when it is still cold, and people use wood, natural gas for heating.

In summer, the concentration values (figure 7) are exceeded in particular due to traffic since plants produce only hot water, and only used for heating the population. In autumn (figure 8) NO_x concentrations are exceeded, due to the operation of power plant, concentration values are up to maximum values up to $100 \mu g/m^3$.

Berceni industrial station is located in the south of Bucharest. The following figures show changes in concentrations measured at industrial automatic station Berceni (pollution from Power Plant Progresu and from residential sources).

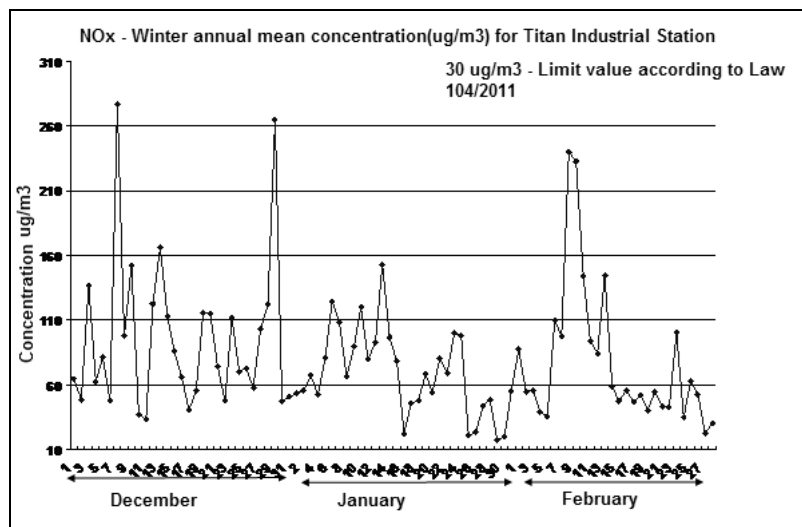


Figure 5 – Winter annual concentration

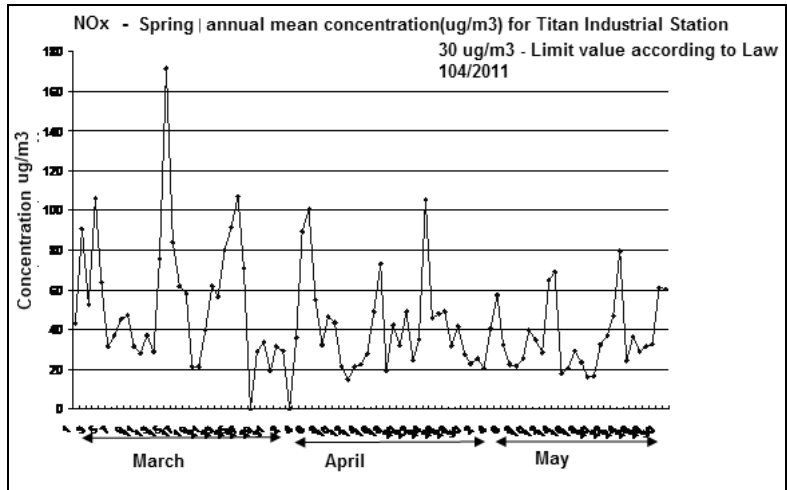


Figure 6 – Spring annual concentration

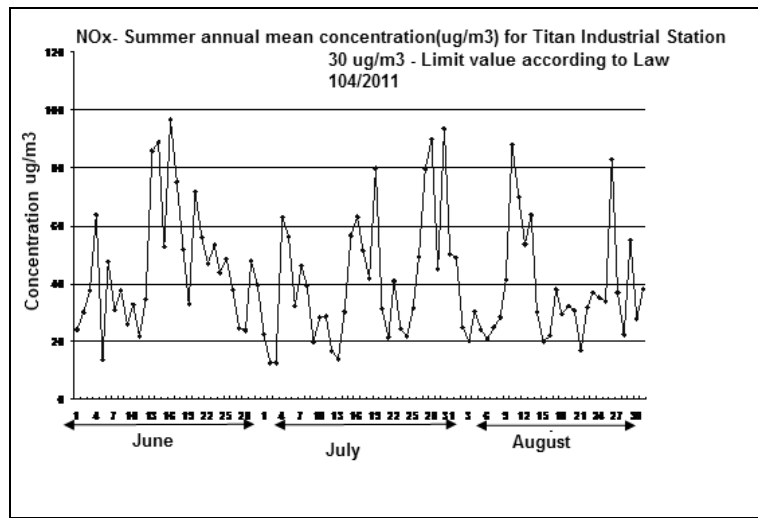


Figure 7 – Summer annual concentration

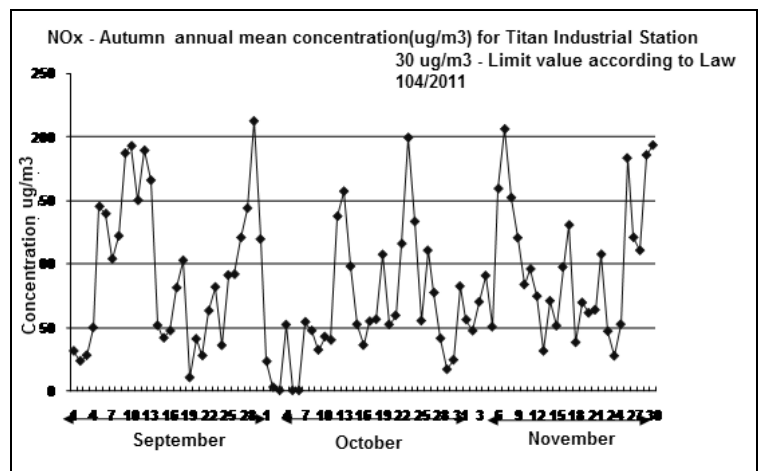


Figure 8 – Autumn annual concentration

Analyzing the chart (figure 9) for the winter season, the limit value is exceeded in December and February, concentrations reaching up to about 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. For the spring season (figure 10), the highest value is

140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and recorded in March. Also in March a few values were not recorded, possibly due to downtime analyzers. As we approach the summer concentrations of pollutants decreases.

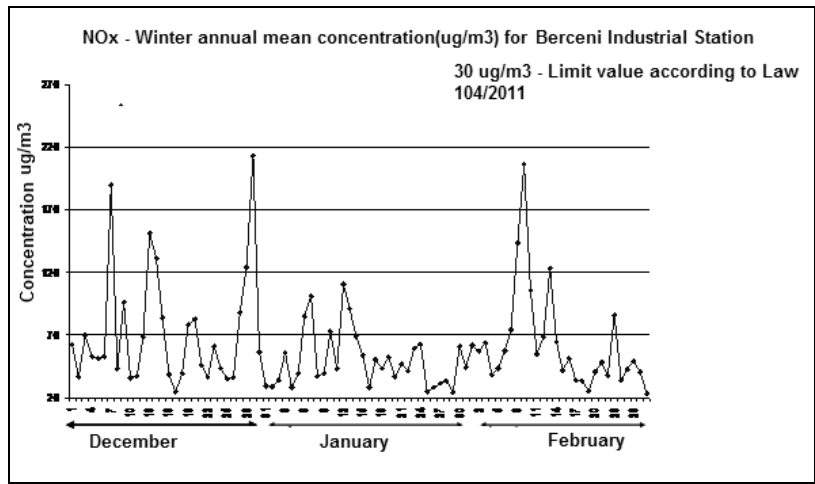


Figure 9 – Winter annual concentration

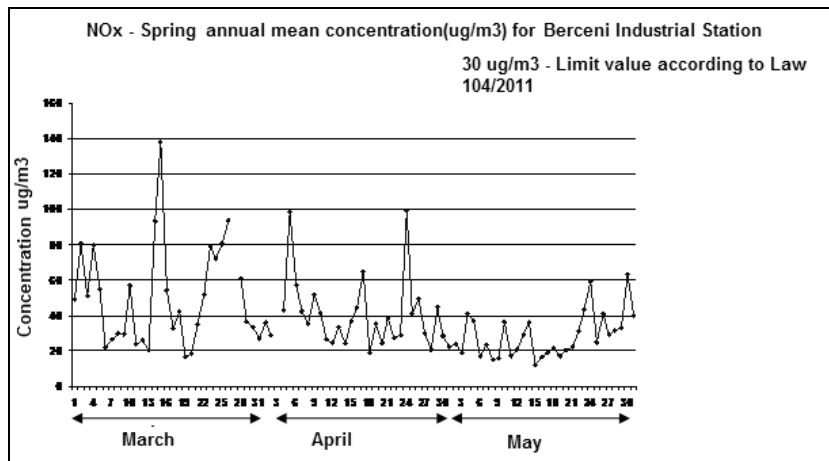


Figure 10 – Spring annual concentration

For the summer season (figure 11) records a few peaks in value of nearly 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, these values are in July and August in a few days, possibly from damaging the analyzer or the increased flow of cars. In autumn (figure 12) NO_x concentrations are exceeded, due to the operation of power plant, concentration values are up to maximum values up to 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Drumul Taberei Industrial Station is located in the west of Bucharest. The following figures show changes in concentrations measured at industrial automatic station Drumul Taberei (pollution from Power Plant Grozavesti and from residential sources (heating population and traffic)).

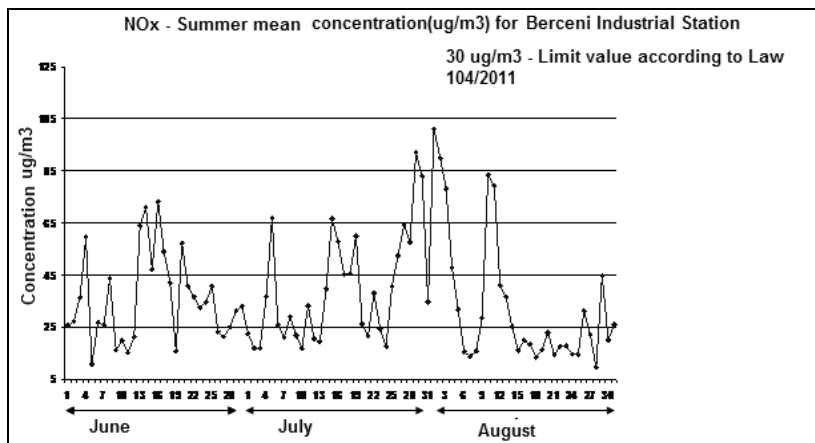


Figure 11 – Summer annual concentration

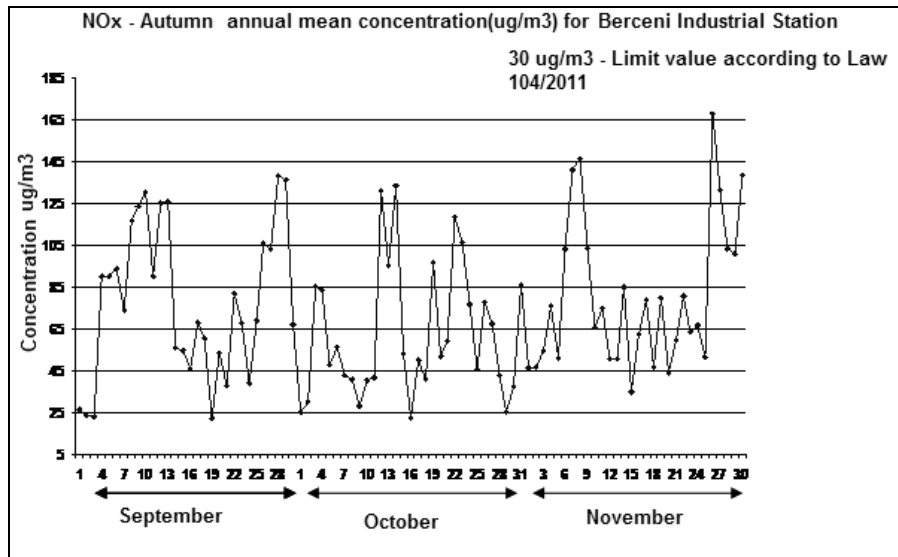


Figure 12 – Autumn annual concentration

The highest value of the concentration recorded in December (figure 13), reaching almost $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and the major source of pollution is industrial sources (Power Plant Grozăvești) and traffic. The area is extensively circulated by cars passing to the west to exit on the highway, but also because it is underground and the number of cars, buses is higher.

For the spring season (figure 14), the highest value is $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and recorded in March. Also in March a few values were not recorded, possibly due to

downtime analyzers. As we approach the summer concentrations of pollutants decreases.

In the summer season (figure 15) a few peaks are recorded in value in July because of traffic, and in August the concentrations is decrease because a lot of citizen going in vacation. For the autumn season (figure 16) there was a statistically significant increase concentration because in operation Power Plant Grozavesti and traffic. The highest value recorded in late November about $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

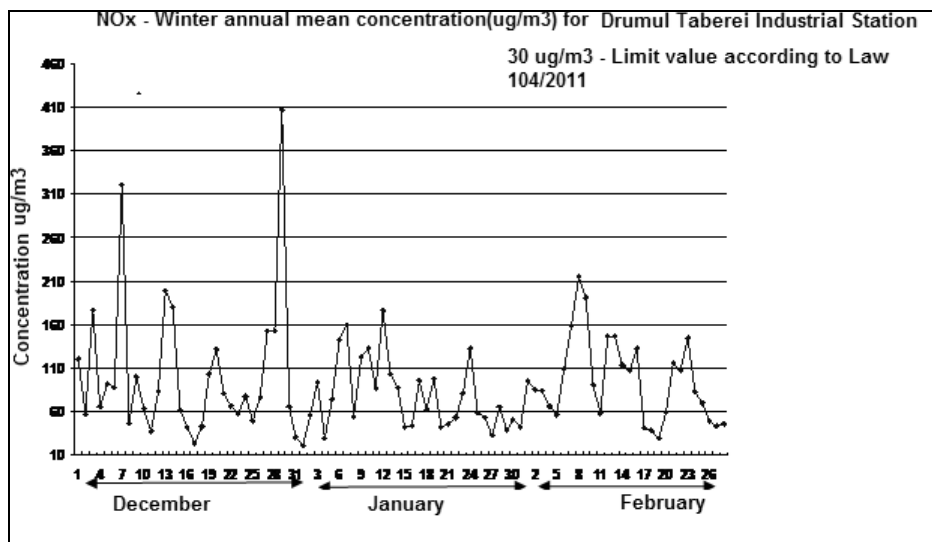


Figure 13 – Winter annual concentration

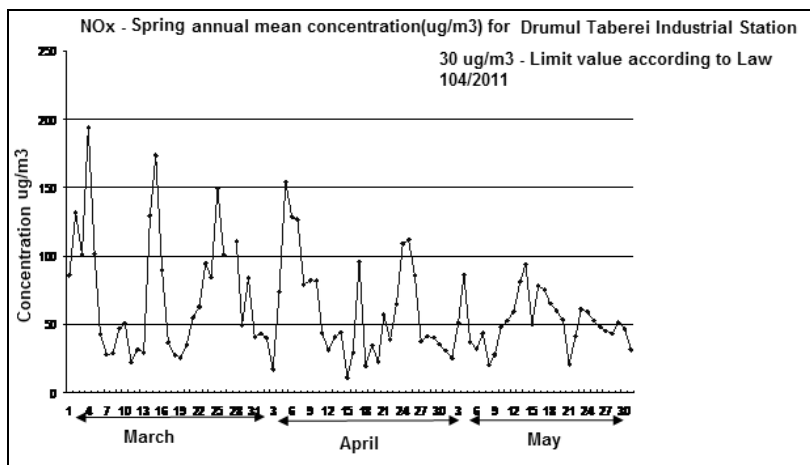


Figure 14 – Spring annual concentration

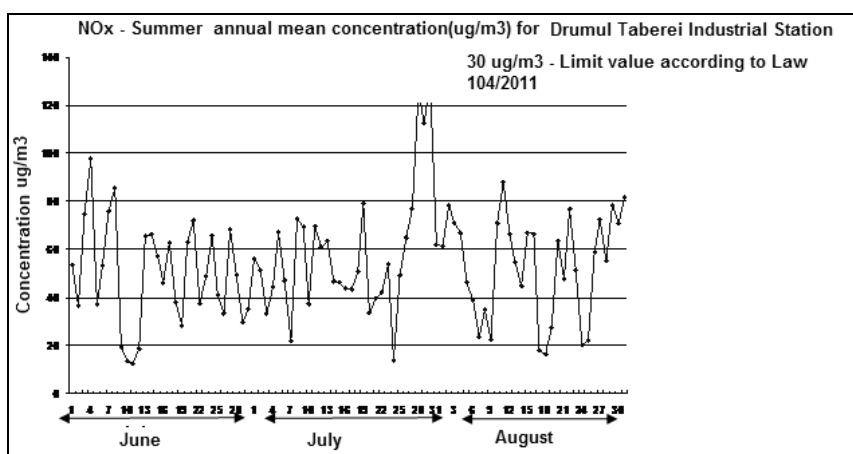


Figure 15 – Summer annual concentration

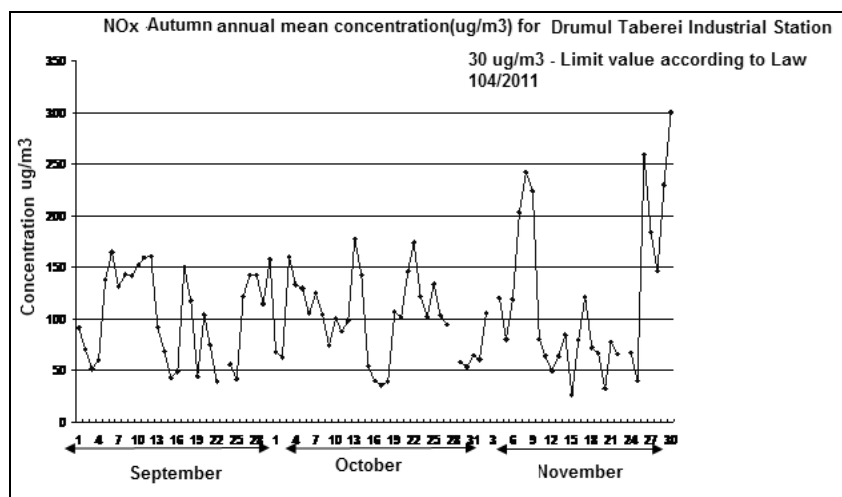


Figure 16 – Autumn annual concentration

Conclusion. This paper presents an experimental study about the sources of atmospheric pollution in the metropolitan area of Bucharest and observations are made based on computer programs developed by the authors, a prediction in concentration of polluting substance in a clearly defined geographical point. An Access database was developed obtain the needed

information provided by automatic monitoring stations which exist in given geographical areas, meteorological parameters for both the pollutants and for NO_x concentrations in the atmosphere.

Analyzing graphical representations of measured concentrations of nitrogen oxides from air quality

industrial automation stations monitoring, power plants represents the main industrial source of pollution during winter and autumn and in summer pollution comes from traffic.

Most pollution (pollution footprint) is represented by power plant Grozavesti, followed by South and Progresu power plants. Traffic impact is greater in the exit area of Bucharest, especially in the west and south.

In conclusion, it is necessary to modernize installation of power plants by replacing the pollution filters in order to reduce pollution levels.

Meteorological factors also play an important role, since pollution is influenced by the thermal inversion because of the existence of Dambovită River. Thermal inversion appeared in days when the water is cooler than the air, and winds are weak.

REFERENCES

1. Fenger, J. Urban air quality [Tex] / J. Fenger // Atmospheric Environment. – 1999. – № 33. – P. 4877–4900.
2. Kyle, T. Atmospheric Transmission [Tex] / T. Kyle // Emission and Scattering, Pergamon. – 1991. – First Edition. – P. 300.
3. Law 104/2011 – Air quality. – Available: <http://lege5.ro/Gratuit/gi2tqmjzgg/legea-nr-104-2011-privind-calitatea-aerului-inconjurator>.
4. Air quality monitoring network. – Available: www.calitateaer.ro.
5. Bălăceanu, C. A study of air pollution in the area of the industrial objective using the dispersion Model at Local Scale [Tex] / C. Bălăceanu, S. Ștefan // Annals of Physics. Bucharest. – 2003. – P. 83–89.
6. Wayne, R. Davis. Air pollution engineering manual [Tex] / R. Davis Wayne // John Wiley&Sons Inc. – 2000. – Second Edition. – P. 912.
7. Bălăceanu, C. The assessment of the TSP particulate matter in the urban ambient air [Tex] / C. Bălăceanu, S. Ștefan // Romanian Academy – Romanian Reports in Physics. – 2004. – Vol. 56. – № 4. – P. 757–768.

Стаття надійшла до редакції 30.10.2017 р.

К. М. Балацану, Г. Йордаче

ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В РАЙОНІ ПРОМИСЛОВИХ СТАНЦІЙ МЕТРОПОЛІТЕНУ В БУХАРЕСТІ

Метою даного дослідження є оцінка рівня концентрації NO_x від промислових станцій Titan, Verceeni і Drumul Taberei в Бухаресті. Дослідження було виконано для чотирьох сезонів: зима, весна, літо й осінь 2015 р. У дослідженні враховані зміни атмосферного тиску, температури й метеорологічних параметрів впродовж року. Вимірювання показали, що найвища концентрація NO_x спостерігається в зимовий і осінній періоди, через несприятливі метеорологічні умови й початок експлуатації теплових електростанцій в холодний сезон. Теплові електростанції в Бухаресті працюють на природному газі, оскільки підприємства були модернізовані. Результати показали, що промислові станції є головним джерелом перевищення граничного значення NO_x , встановленого Законом 104/2011. Перевищення допустимого значення концентрації шкідливого компонента у повітрі при певних метеорологічних умовах від промисловості, що розвивається, впливає на здоров'я людини і рослинність. Спосіб дослідження просторової й часової мінливості концентрацій забруднюючих речовин дозволяє оцінити моделі якості повітря для отримання ключових результатів.

Ключові слова: забруднюючі речовини, просторова й часова мінливість, промислові й метеорологічні умови.

К. М. Балацану, Г. Йордаче

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА В БУХАРЕСТЕ

Целью данного исследования является оценка уровня концентрации NO_x от промышленных станций Titan, Verceeni і Drumul Taberei в Бухаресте. Исследование выполнено для четырех сезонов: зима, весна, лето и осень 2015 г. В исследовании учтены изменения атмосферного давления, температуры и метеорологических параметров в течение года. Измерения показали, что самая высокая концентрация NO_x наблюдается в зимний и осенний периоды из-за неблагоприятных метеорологических условий и начала эксплуатации тепловых электростанций в холодный сезон. Тепловые электростанции в Бухаресте работают на природном газе, поскольку предприятия были модернизированы. Результаты показали, что промышленные станции являются основным источником превышения предельного значения NO_x , установленного Законом 104/2011. Превышение предельного значения концентрации вредного компонента в воздухе при определенных метеорологических условиях от развивающейся промышленности, влияет на здоровье человека и растительность. Способ исследования пространственной и временной изменчивости концентраций загрязняющих веществ позволяет оценивать модели качества воздуха для получения ключевых результатов.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, пространственная и временная изменчивости, промышленные и метеорологические условия.

УДК 658.382.2

М. М. Зацеркляний, к. т. н., доц., доц. каф.
Одеська національна академія харчових технологій
вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039

УТВОРЕННЯ ПИЛУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ГАЛУЗІ ХЛІБОПРОДУКТІВ І ЗМЕНШЕННЯ ПИЛОВИДІЛЕННЯ

Проаналізовані основні виробничі процеси підприємств галузі хлібопродуктів як джерела утворення забруднювальних речовин. Показано, що технологічні процеси підприємств супроводжуються виділенням пилу у виробничі приміщення і навколишнє середовище і це несприятливо впливає на мікроклімат і санітарно-гігієнічний стан цехів підприємств, сприяє виникненню небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що впливають на стан довкілля і здоров'я працюючих. Уточнено склад і властивості пилу. Показано, що з метою зменшення антропогенного впливу підприємств галузі хлібопродуктів на атмосферне повітря необхідно створити систему, яка дозволяє ліквідувати причини утворення пилу. Запропоновані умови зменшення пилоутворення і пиловиділення.

Ключові слова: пил, забруднювальні речовини, очищення атмосферного повітря, пожежна й екологічна безпека.

Постановка проблеми. Захист атмосферного повітря від забруднювальних промислових викидів – одна із найважливіших проблем сучасності.

Міста з промисловими об'єктами є центрами найгостріших екологічних проблем, без вирішення яких неможливий перехід суспільства до сталого і гармонійного розвитку, забезпечення досягнень соціально-економічної стабільності, збереження сприятливого навколишнього середовища і природноресурсного потенціалу.

В останні десятиліття дедалі виразнішими стають негативні наслідки прогресуючої урбанізації: забруднення міського середовища, зростання відходів виробництва, підвищення рівня захворюваності населення тощо.

У таких умовах для підприємств галузі хлібопродуктів актуальним завданням є здійснення необхідних заходів щодо запобігання шкідливим викидам в атмосферу.

Викиди таких пилоподібних продуктів у навколишнє середовище не тільки погіршують санітарно-гігієнічний стан виробничих приміщень, сприяють збільшенню фактора вибухо- і пожежонебезпеки, але і пов'язані з прямими втратами готової продукції. Тому впровадження заходів по скороченню викидів пилоподібного продукту з відпрацьованим повітрям має для підприємств і важливе економічне значення, призводить до збільшення товарної продукції і допоміжного прибутку.

У вирішенні проблеми знепилювання технологічних викидів важливе місце належить удосконаленню наявних і створення нових конструкцій високоєфективних апаратів з уловлювання пилу. Існуюча ж практика експлуатації засобів очищення відпрацьованого повітря у ряді виробництв галузі хлібопродуктів свідчить про невідповідність фактичної ефективності уловлювання пилоподібних продуктів проектним показникам і реальним можливостям

очисних установок, що пов'язано з недостатнім урахуванням при розробці установок очистки специфічних умов роботи відповідного технологічного устаткування.

Між тим необхідно також створити умови для зменшення пилоутворення і пиловиділення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значна увага приділяється вирішенню цієї проблеми у нашій країні. Цілий ряд постанов Уряду, прийнятих в останні роки, передбачає здійснення необхідних заходів щодо запобігання шкідливим викидам в атмосферу, своєчасне будівництво очисних споруд, підвищення якості їх роботи, розробку і освоєння виробництва нових видів пиловловлюючого обладнання.

Так відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [1], Закону України «Про охорону атмосферного повітря» [2] забороняється введення в експлуатацію об'єктів, що не забезпечені сучасними технологіями, спорудами і установками по очищенню викидів до рівня гранично допустимих нормативів, засобами контролю за забрудненням навколишнього середовища, без завершення запроектованих робіт з охорони природи, оздоровлення навколишнього середовища. У вирішенні практичних завдань раціонального природокористування і охорони навколишнього середовища надають допомогу науковці та фахівці наукових установ, які беруть участь у розробці і реалізації комплексних екологічних програм та проектних робіт.

Серед науковців, які вивчали проблеми, пов'язані із аналізом сучасного стану екологічної безпеки на об'єктах галузі хлібопродуктів і розробкою конструкцій апаратів для очистки повітря від пилу, слід зазначити В. А. Баглука [3], Г. К. Бондарева [4], О. І. Гопанюка [5], О. М. Дзядзіо [6], Є. А. Дмитрика [7], В. М. Шмандія [8, 9], та інших з Одеської національної академії харчових технологій, Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

У рішенні проблеми знепилювання технологічних викидів важливе місце належить удосконаленню наявних і створення нових конструкцій високоефективних пиловловлюючих апаратів. Існуюча ж практика експлуатації засобів очищення відпрацьованого повітря в ряді виробництв харчової промисловості свідчить про невідповідність фактичної ефективності уловлювання пилоподібних продуктів проектним показникам і реальним можливостям очисних установок, що пов'язано з недостатнім урахуванням при розробці установок очистки специфічних умов роботи відповідного технологічного устаткування.

Проте вирішення проблеми ефективного уловлювання забруднювальних речовин ускладнюється відсутністю повноцінних відомостей стосовно фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей пиловидних продуктів, режимних параметрів запиленого повітряних викидів, даних про оптимальні типи пиловловлювачів для конкретних умов виробництва. Крім того практика показала, що механічне перенесення непогано зарекомендованого у певних умовах очисного обладнання у зовсім нових умовах може дати навіть негативний результат.

Постановка завдання та його вирішення.

Враховуючи результати приведеного вище аналізу, метою роботи є розроблення заходів, направлених на зменшення рівня екологічної небезпеки від

пилових викидів підприємств галузі хлібопродуктів шляхом удосконалення пилоочисного обладнання.

Для досягнення вказаної мети поставлені та вирішені такі задачі:

– вивчення характеристик пилу мінерального і органічного походження підприємств галузі у залежності від виду виробничої діяльності;

– встановлення закономірності розподілу пилу у середині виробничих приміщень підприємств і за їх межами;

– розроблення конструкції апаратів для очистки повітря від пилу, які спроможні високоефективно та з мінімальними енерго- і металовитратами вловлювати дрібнодисперсні фракції зернового пилу.

У зв'язку з недостатніми відомостями про дисперсний склад пилу підприємств галузі хлібопродуктів, були проведені обстеження п'яти елеваторів (1 – Одеський портовий елеватор, 2 – Одеський комбінат хлібопродуктів, 3 – Куліндорівський комбінат хлібопродуктів, 4 – Березівський і 5 – Ізмаїльський елеватори. Усі підприємства Одеської області). Зразки відбирали у різних точках пиловидалення технологічних схем, від надходження зерна на підприємства до завантаження його у силос. Для більш широкої перевірки результатів дослідження і порівняння, визначали також показники каолінового, кварцового і борошняного пилу, що мають різну ступінь дисперсності, медіанний розмір, об'ємну масу, зольність. Результати дослідження подані у таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристика пилу

№ з/п	Найменування досліджуваного пилу	Зольність, Z, %	Вологість, W, %	Об'ємна маса, γ , кг/м ³	Медіанний розмір, δ_{50} , мкм	Ступінь дисперсності, $\delta = \frac{\delta_{50}}{\delta_{16}}$
1	каоліновий	98,5	0,5	2480	–	–
2	1-зерновий	28,6	8,5	1660	8	2,00
3	2-зерновий	28,5	8,5	1660	8	2,50
4	3-зерновий	29,2	8,0	1670	10	2,50
5	4-зерновий	28,4	8,5	1680	8	2,00
6	5-зерновий	29,1	8,0	1660	8	2,50
7	кварцовий	99,0	0,5	2500	8	3,80
8	борошняний	0,5	13,4	1370	46	2,05

Зразки пилу, що використовувалися в експериментальних дослідженнях дозволили отримати дані ситової області частинок пилу більше 110 мкм, яких у відібраних зразках містилося від 50 до 95 % і описувалися рівнянням

$$D = a + b\delta - ce^{-k\delta}, \quad (1)$$

де a , b , c , k – коефіцієнти, які визначаються експериментально у залежності від місця пиловидалення, виду, вологості і характеру попередньої обробки зерна.

У підситовій області (розміри часток менше 110 мкм) дисперсний склад зразків пилу

підпорядковується логарифмічно нормальному закону розподілу.

Важливо було встановити закономірності розподілу пилу у середині виробничих приміщень підприємств і за їх межами.

У повітрі робочої зони виробничих приміщень, концентрація зернового пилу повинна складати не більше 4 мг/дм³, борошняного – 6 мг/дм³, оскільки такий пил негативно впливає на здоров'я обслуговуючого персоналу, є причиною виникнення пожеж і вибухів на хлібоприймальних та зернопереробних підприємствах, а потрапляючи у навколишнє середовище забруднює його.

Частина зернового пилу знаходиться у зв'язаному стані, тобто у звичайних умовах не відділяється від поверхні зерна, залягаючи,

наприклад, у борозенках зерна та оболонках. При процесах переміщення і очищенні зерна відбувається відділення від поверхні зерна мінеральних і органічних частинок. Особливо значні обсяги утворення пилу спостерігаються при продуванні повітрям шару зерна (активне вентилування) і при використанні для переміщення зерна пневматичного транспорту і аерожолобів). Утворена пилова хмара, що складається з великих частинок (полова, оболонки зерна), швидко осідає; значно стійкіша пилова хмара, що утворена дрібними, повільно осідаючими частинками.

Валові викиди пилу в атмосферне повітря від зернопереробних підприємств і елеваторів складаються з сумарної кількості пилу, що відходить від технологічного і транспортного устаткування.

Кількість пилу, що відходить від транспортного та технологічного устаткування, дорівнює сумарній кількості пилу, що надходить у пиловловлювачі аспіраційних та пневмотранспортних установок, які обслуговують це обладнання [4].

Концентрацію пилу у повітрі яке відводиться від обладнання елеваторів, приймають з таблиці 2.

Таблиця 2 – Середні значення концентрації пилу у повітрі, що відходить від різних видів обладнання елеваторів

Найменування обладнання, що знепилюється	Концентрація пилу у повітрі, що відходить від устаткування, мг/дм ³
Приймання зерна із залізничного транспорту	1,3
Башмаки норій	2,0
Насипні лотки підсилосних транспортерів	0,6
Насипні лотки надсилосних транспортерів	1,5
Скидні коробки підсилосних транспортерів	2,0
Автоматичні ваги, підваговий і надваговий бункер, головки норій	1,2
Поворотні круги, надсепараторні бункери	0,6
Скидні візки	0,7
Ланцюгові транспортери	0,8
Пневмотранспортер відходів	3,0
Повітряно-ситові сепаратори	3,0

Повітря, що видаляється вентиляційними системами, перед викидом в атмосферу повинно очищатися від пилу з максимально можливою за техніко-економічних міркувань повнотою. Ступінь очищення повітря від пилу визначається виходячи з допустимого залишкового вмісту пилу у повітрі після очищення, а також з техніко-економічних міркувань (у тому випадку, якщо пил становить певну цінність і може бути використаний для корисних цілей, що повністю або частково окупає витрати на очищення повітря).

Зменшення кількості забруднювальних речовин, що надходять у довкілля з підприємств галузі хлібопродуктів, та встановлення рівня їх впливу на довкілля є актуальною проблемою сьогодення, має екологічне, соціальне та народногосподарське значення. Розроблення нових технологій обробки зернових матеріалів з вдосконаленими та новими методами і засобами пилоочищення дозволить спроектувати їх із заздалегідь прогнозованими параметрами і є актуальною науковою і практичною задачею, вирішення якої сприятиме зменшенню кількості техногенних забруднень, підвищенню рівня екологічної безпеки об'єктів, регіону та держави.

Наявні пристрої систем аспірації на даний час морально застаріли та технічно зношені і вже не в змозі забезпечити належний ступінь очистки повітря від пилу, що викликає потребу їх удосконалення. Виникло протиріччя: з одного боку

– суттєво мають бути підвищені потенційні можливості систем очистки, з іншого боку – зросли труднощі у реалізації цих можливостей внаслідок експлуатаційних можливостей апаратури. Ускладнення систем пилоочищення при одночасному підвищенні вимог щодо ефективності їх роботи вимагає прийняття певних мір по розробці вискоелективних апаратів пиловловлення [8, 9, 11].

За результатами аналізу літературних джерел та практичної оцінки умов формування екологічної небезпеки при реалізації технологічних процесів на зернових елеваторах, доведено необхідність проведення процесів очищення повітря робочих зон від зернового пилу, шляхом створення нових конструкцій пиловловлюючого обладнання.

Відповідно до цього розроблено новий удосконалений пристрій для відокремлювання домішок з повітряного середовища, у якому шляхом введення циклонного пристрою на вході повітряного потоку завантажувального карману циліндричного корпусу, додатково забезпеченого насипною фільтрувальною зернистою засипкою з шнеком і привідним механізмом для її переміщення, забезпечено практично повне відокремлювання домішок від газів, підвищена надійність при експлуатації, та ефективність очистки газових викидів від забруднювальних речовин [10].

Установлено, що доцільно застосовувати в якості першої ступені очищення циклони, а другої – фільтри. Можливе використання циклон-фільтрів.

Показано, що з метою зменшення антропогенного впливу підприємств галузі хлібопродуктів на атмосферу необхідно створити систему, яка дозволяє ліквідувати причини утворення пилу. Для цього слід створити умови для зменшення пилоутворення і пиловиділення шляхом:

- використання нових типів транспортного і технологічного обладнання;
- герметизації обладнання;
- застосування нового типу обладнання локальної аспірації;
- створення ефективних систем управління знепилюючими установками.

Така система знепилювання дозволить зменшити обсяги викидів забруднювальних речовин у навколишнє природне середовище, стабілізує параметри мікроклімату і санітарно-гігієнічний стан цехів підприємств галузі хлібопродуктів, забезпечить раціональне використання ресурсного потенціалу.

Висновки. Аналіз пилу підприємств галузі хлібопродуктів показав, що його властивості залежать від виду виробничої діяльності, а концентрація від обладнання, що знепилюється.

Встановлено, що на запиленість повітря виробничих приміщень підприємств галузі, впливає герметизація транспортного і технологічного обладнання, конструктивне виконання, стан і режими роботи робочих органів обладнання, наявність, режими і ефективність роботи аспіраційних систем, культура виробництва.

Проведені дослідження дозволили розробити апарати для очистки повітря від пилу, які

високоєфективно та з мінімальними енерго- і металовитратами уловлюють дрібнодисперсні фракції зернового пилу.

За результатами аналізу літературних джерел та практичної оцінки умов формування екологічної небезпеки при реалізації технологічних процесів на зернових елеваторах, доведено необхідність здійснення подальших досліджень процесів очищення повітря робочих зон від зернового пилу, та створення нових конструкцій пиловловлюючого обладнання.

Завдання подальших досліджень і розробок. Визначення оптимальних параметрів конструкції апаратів для уловлювання забруднювальних речовин з повітря, що відводиться від транспортного і технологічного обладнання підприємств галузі хлібопродуктів.

Розроблення нових видів обладнання і методики інженерного розрахунку знепилюючих систем виробничих приміщень хлібоприймальних і борошномельних підприємств, які б дозволили удосконалити системи охорони атмосферного повітря.

Пошук найефективніших засобів боротьби з забрудненням атмосферного повітря виробничих приміщень підприємств галузі.

Обґрунтування схеми аналізу аеродинамічних процесів всередині запропонованих пиловловлювачів, яка дасть можливість визначити ефективність відокремлення твердих домішок.

Створення системи моніторингу параметрів атмосфери у зоні розташування підприємств галузі хлібопродуктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 червня 1991 року № 1264-ХІІ [Текст] // Відомості Верховної Ради України. – 1991. – № 41. (Із останніми змінами).
2. Про охорону атмосферного повітря: Закон України від 16 жовтня 1992 року № 2707-ХІІ [Текст] // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 50. (Із останніми змінами).
3. Батлук, В. А. Наукові основи створення високоєфективного пиловловлюючого обладнання: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.02 / В. А. Батлук. – Л.: НУЛП, 2001. – 370 с.
4. Бондарев, Г. К. Исследование циклонов с целью улучшения обеспыливания воздуха на зерновых элеваторах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.14 / Г. К. Бондарев. – О.: ОТИ, 1974. – 12 с.
5. Гопанюк, О. І. Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна [Текст] / Є. А. Дмитрук, О. І. Гапонюк та ін. – К., Одеса: Друкарський дім, 1995. – 131 с.
6. Вентиляционные установки зерноперерабатывающих предприятий [Текст] / А. В. Панченко, А. М. Дзядзио, А. С. Кеммер и др. – М.: Колос, 1974. – 400 с.
7. Дмитрук, Е. А. Борьба с пылью на комбикормовых заводах [Текст] / Е. А. Дмитрук. – М.: Агропромиздат, 1987. – 85 с.
8. Шалугін, В. С. Процеси та апарати промислових технологій [Текст]: навч. посібник / В. С. Шалугін, В. М. Шмандій. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 392 с.
9. Екологічна безпека [Текст]: підручник / В. М. Шмандій, М. О. Клименко, Ю. С. Голік та ін. – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 366 с.
10. А. С. 1599044 СССР, МКИЗ В 01 D 21/00. Устройство для отделения примесей / М. М. Зацерклянный, В. О. Путинцев, Т. Б. Столевич, В. А. Квантидзе (СССР). – №4603232/31-26; заявл. 09.11.88; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38.
11. Основи технологій виробництва в галузях народного господарства: навч. посібник / Є. П. Желібо, Д. В. Анопко, В. М. Буслик и др. – К.: Кондор, 2005. – С. 415.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2017 р.

M. Zatserkliannyi

FORMATION OF DUST IN ENTERPRISES OF THE BREAD INDUSTRY AND DECREASING OF DUST FORMATION

The basic production processes of the enterprises have been shaken off bread products as sources of formation of polluting substances. It is shown that the technological processes of enterprises are accompanied by the release of dust into production facilities and the environment and this adversely affects the microclimate and sanitary and hygienic condition of the shops of enterprises, contributes to the formation of hazardous and harmful production factors that affect the environment and the health of workers. The composition and properties of dust are specified. It is shown that in order to reduce the anthropogenic impact of enterprises, bread products have been dispatched to atmospheric air, it is necessary to create a system that will eliminate the causes of dust formation. Conditions for reduction of dust formation and dust emission are proposed.

Keywords: dust, pollutants, atmospheric air purification, fire and environmental safety.

М. М. Зацерклянный

ОБРАЗОВАНИЕ ПЫЛИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОТРАСЛИ ХЛЕБОПРОДУКТОВ И УМЕНЬШЕНИЕ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЯ

Проанализированы основные производственные процессы предприятий отрасли хлебопродуктов как источники образования загрязняющих веществ. Показано, что технологические процессы предприятий сопровождаются выделением пыли в производственные помещения и окружающую среду и это неблагоприятно влияет на микроклимат и санитарно-гигиеническое состояние цехов предприятий, способствует образованию опасных и вредных производственных факторов, которые влияют на окружающую среду и здоровье работающих. Уточнено состав и свойства пыли. Показано, что с целью уменьшения антропогенного влияния предприятий отрасли хлебопродуктов на атмосферный воздух необходимо создать систему, которая позволит ликвидировать причины образования пыли. Предложены условия уменьшения пылеобразования и пылевыведения.

Ключевые слова: пыль, загрязняющие вещества, очистка атмосферного воздуха, пожарная и экологическая безопасность.

УДК 504:620.3

І. Т. Богданов, д. пед. н., проф., ректор
Я. О. Сичікова, к. т. н., доц., доц. каф.
 Бердянський державний педагогічний університет
 вул. Шмідта 4, м. Бердянськ, Україна, 71100
С. О. Вамболь, д. т. н., проф., зав. каф.
В. В. Вамболь, д. т. н., доц., проф. каф.
 Національний університет цивільного захисту України
 вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НАНОМАТЕРІАЛІВ ЧЕРЕЗ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАНОСТРУКТУР

Актуальність дослідження пояснюється тим, що більше 50 країн ведуть дослідження й розробки в галузі нанотехнологій і не менше 30 країн мають свої національні програми в цій галузі. В цій роботі визначені основні етапи життєвого циклу продуктів нанотехнологій й їх вплив на довкілля. Встановлено елементи системи управління якістю наноструктур, які відповідають за екологічну безпеку нанопродуктів застосовуваних у виробках мікроелектроніки й фотоелектричних перетворювачах енергії. Забезпечення якості наноструктур зумовлює подовження терміну експлуатації виробів на їх основі, тобто подовжується життєвий цикл продукції. Крім того, знижується ймовірність виділення наночастинок у довкілля через стабілізацію поверхневих властивостей зразків. Подано структурні компоненти розгорнутої схеми системи управління технологічним процесом електрохімічного розчинення кристалу. Задачами управління процесом електрохімічного розчинення кристалу є встановлення таких технологічних режимів, при яких стає можливим отримання наноструктур із прогнозованими й програмованими властивостями з урахуванням зовнішніх факторів.

Ключові слова: екологічна безпека, наноматеріали, управління якістю, життєвий цикл.

Постановка проблеми. Закон України від 19.06.2003 р. № 964-IV «Про основи національної безпеки України» наголошує, що створення нових технологій і виробництв обумовлено підвищенням вимог до матеріалів і виробів з них. При цьому кожен технологічний процес супроводжується шкідливими викидами в атмосферу [1] і утворенням відходів з подальшим накопиченням важких металів у ґрунті та стічних водах [2].

Наразі полімерні синтетичні матеріали становлять приблизно 40...60% загальної маси відходів [3], близько 10% складають інженерні наноматеріали (ENM) [4], а кількість наноматеріалів в побутових товарах постійно зростає [5] і, після закінчення терміну експлуатації так само потрапляє у відходи. За деякими оцінками приблизно 20000 т/рік нанокмпозитів вивозиться на звалища як відходи [6]. До наноматеріалів традиційно відносять об'єкти, один з характерних розмірів яких лежить в інтервалі від 1 до 100 нм. Тобто практично кожен синтетичний матеріал може містити частки нанометрового розміру.

У свою чергу токсичність наноматеріалів в значній мірі пов'язана з присутніми в них домішками [7]. В силу особливих хімічних і фізичних характеристик наноматеріалів наслідки для безпеки довкілля в цей час мало вивчені [8].

Небезпека наноматеріалів полягає також в тому, що наночастинок можуть мати значну кількість обірваних зв'язків, які здатні приєднувати до себе вільні радикали [9].

Більше 50 країн ведуть дослідження й розробки в галузі нанотехнологій і не менше 30 країн мають

свої національні програми в цій галузі. При цьому існують припущення, що потрапляння наночастинок в біосферу призводить до негативних наслідків, прогнозувати які наразі не є можливим через нестачу інформації. Дослідники відзначають, що токсичність наноматеріалів в значній мірі пов'язана з присутніми в них домішками, а не з самими матеріалами. Однак до сьогодні відомості про наслідки неконтрольованих викидів наночастинок в навколишнє природне середовище залишаються досить мізерними. Дослідження показали, що саме ті якості наноматеріалів, які роблять їх затребуваними, можуть нести потенційну екологічну загрозу. Сьогодні є важливим визначитись: або застосовувати потенційно-небезпечні матеріали, або відмовитись від них на користь екологічно чистих й достатньо досліджених. Наразі системний підхід з визначення ступеня небезпеки продуктів нанотехнологій протягом їх життєвого циклу відсутній. Також не відсутні досі методи визначення їхньої небезпеки на кожному етапі, недостатньо досліджені питання екологічної безпеки їх застосування. Принциповим питанням є розробка системи управління якістю наноструктур як складової системи управління екологічною безпекою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Небезпека наноматеріалів полягає в тому, що наночастинок можуть мати значну кількість обірваних зв'язків, які здатні приєднувати до себе вільні радикали [9]. Матеріали з наночастинками можуть містити вуглецеві волокна [10], вуглецеві нанотрубки [11], наночастинок кремнезему [12] і

оксиди металів [13]. При дослідженні екологічної безпеки таких матеріалів після закінчення терміну служби авторами робіт [6, 14] була розроблена інтегрована система для дослідження термічного розкладання вуглецевих нанотрубок в контрольованих умовах при високих температурах – 800 °C і вище. Однак згідно багаторічними спостереженнями за полігонами депонування відходів дослідниками встановлено, що температура в товщі полігону зберігається на рівні 20...80 °C відповідно до джерела [15] і відповідно до [16] – 20...65 °C, а вологість в найбільшій мірою залежить від пори року і коливається 40...80 %.

Деякі автори вважають, що для забезпечення безпеки наноматеріалів, потрібні методи їх ідентифікації в екологічних і біологічних системах [17]. Ці методи повинні мати можливість специфічно ідентифікувати наноматеріали, оскільки було доведено, що молекулярна і об'ємна форма матеріалів, що містять один і той же елементарний профіль, матимуть різні фізичні і хімічні властивості [18, 19].

В роботі [20] авторами показано, що стандартні токсикологічні методи не можуть бути застосовані до визначення небезпеки наноматеріалів. Це пояснюється тим, що їх властивості обумовлені, не тільки концентрацією, а й специфічними квантово-розмірними властивостями [21]. Таким чином, можна стверджувати, що багато вчених вказують на

потенційну небезпеку продуктів нанотехнологій для навколишнього середовища і здоров'я людини. Крім того, сучасна наука зосереджується на таких питаннях як: життєвий цикл товарів з названих матеріалів [22, 23], методи оцінки якості наноструктур [24], утилізація наноматеріалів і їх похідних [25].

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є встановлення елементів системи управління якістю наноструктур, які відповідають за екологічну безпеку нанопродуктів для виробів мікроелектроніки й фотоелектричних перетворювачів енергії. Для досягнення мети були поставлені й вирішені такі завдання:

- визначення основних етапів життєвого циклу продуктів нанотехнологій й їх впливу на довкілля;
- встановлення основних факторів, які впливають на якість наноструктур;
- встановлення елементів системи управління якістю наноструктур для управління екологічною безпекою наноматеріалів.

Життєвий цикл наноматеріалів. Проведення повного дослідження з безпеки застосування наноматеріалів й їх впливу на довкілля і організм людини є довготривалим і наукоємним процесом. До того ж наноматеріали можуть становити небезпеку як в процесі їх використання, так й всіх інших етапах життєвого циклу (рисунку 1).

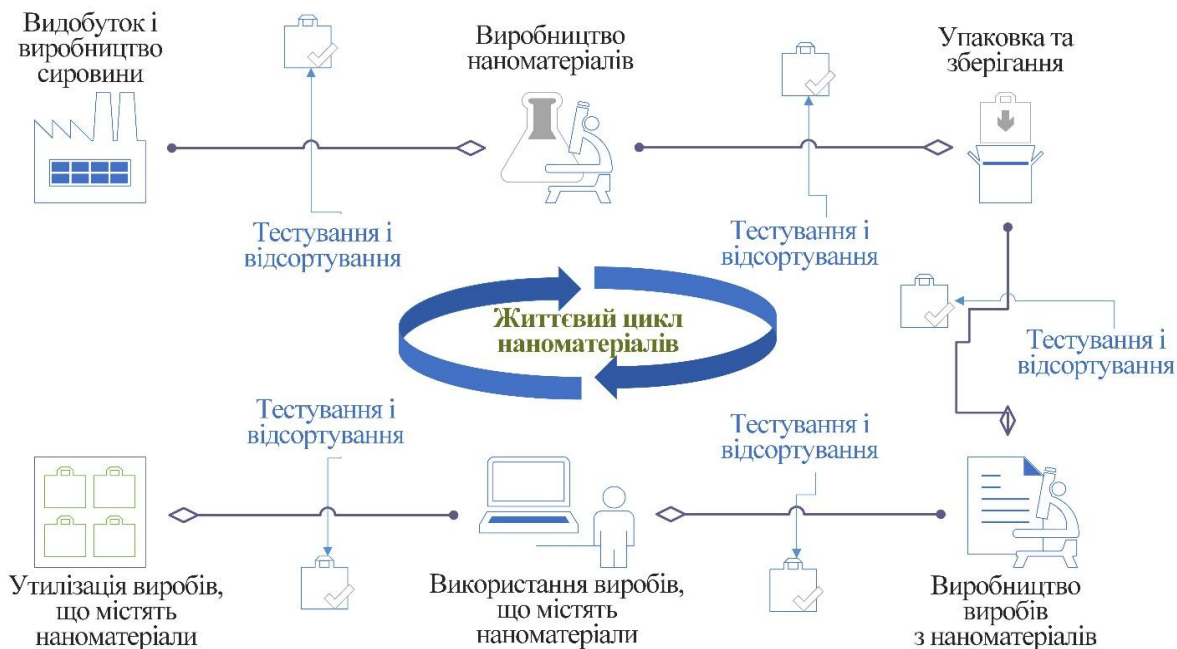


Рисунок 1 – Схема життєвого циклу наноматеріалів

Для оцінки екологічної безпеки наноматеріалів слід враховувати специфічні особливості кожної стадії. Стадія «Видобуток і виробництво сировини» характеризується виснаженням природних ресурсів, необхідністю розробки родовищ з більш складними

гірничо-геологічними й технічними умовами освоєння, значним порушенням ґрунтового покриву. Під «Виробництвом наноматеріалів» розуміємо безпосередній їх синтез. Відмітною особливістю цієї стадії є потрапляння у навколишнє середовище

наночастинок, застосовуваних для виготовлення наноматеріалу. Ті ж самі специфічні особливості наночастинок, як летючість, розчинність, взаємодія з повітрям і водою тощо, потребують уваги на стадії «Зберігання й пакування». Оскільки, наноматеріали далі інтегрують у виробу, то стадії «Виробництво виробів з наноматеріалів» й «Використання наноматеріалів» мають бути досліджені з точки зору забезпечення якості й надійності продукту, що безпосередньо впливає на безпеку під час експлуатації. Важливість дослідження стадії «Утилізація і відходи» обґрунтована тим, що в багатьох випадках виробу із наноматеріалами потрапляють у відходи, які розміщують на полігонах їх депонування. Під час термоокислювального розкладання відходів можлива міграція наночастинок у довкілля з виробів із нановключеннями. Ступінь небезпеки відходів для довкілля залежить від класу і концентрації токсичних речовин, які містяться у відходах, а також від синергічного ефекту декількох компонентів. На стадії «Тестування і відсортування» проводять виявлення придатних виробів до подальшого використання. Залежно від вимог, які висуваються до якості наноматеріалів, їх тестують візуальним оглядом, із використанням електронної

мікроскопії, фотолюмінесценції, рентгенівській дифрактометрії тощо. Вже на цій стадії є можливим утворення відходів.

Фактори, які впливають на якість наноматеріалів. Для створення нанопродукту необхідно застосовувати надсучасні методи синтезу й аналізу властивостей. Для цього необхідним є встановлення властивостей наноструктур, які будуть використані для певної галузі, й виділення чинників, які впливають на безпеку та якість наноматеріалів (таблиця 1). Наведені дані вказують на необхідність звернути увагу на покращення точності проведення контролю якості нанопродукції, дотримання режимів синтезу, застосування й утилізації. Доцільним є додати до етапів життєвого циклу продуктів нанотехнологій ще етап – «Реалізація споживачам», – оскільки якість будь-якого матеріалу необхідно розглядати з позицій застосування його як товару.

З таблиці 1 видно, що на якість продуктів нанотехнологій на кожному з етапів життєвого циклу впливають різні фактори. Системно оцінити якість наноматеріалів та їх екологічну безпеку є можливим після дослідження цих впливів.

Таблиця 1 – Основні фактори, які впливають на якість наноматеріалів й продуктів на їх основі

№ п/п	Назва фактору, який впливає на якість нанопродукту	Назва стадії						
		Видобуток і виробництво сировини	Виробництво наноматеріалів	Зберігання й упаковка	Виробництво нанопродукту	Реалізація споживачам	Експлуатація нанопродукту	Утилізація й відходи
1	Якість сировини (напівпровідники)	+	+	+	+		+	+
2	Якість сировини (електроліти, домішки тощо)	+	+		+			+
3	Технології виробництва наноматеріалів	+	+	+	+	+	+	+
4	Технології тестування й контролю якості наноматеріалів	+	+	+	+	+	+	+
5	Кваліфікація персоналу	+	+	+	+			+
6	Якість обладнання	+	+	+	+			+
7	Вартість сировини і методів синтезу	+	+	+	+	+	+	
8	Дотримання режимів обробки й зберігання	+	+	+	+	+	+	+
9	Санітарно-гігієнічні умови	+	+	+	+	+	+	+
10	Точність вагового дозування	+	+	+	+	+		+
11	Технології утилізації	+	+	+	+			+

Елементи системи управління якістю наноструктур та їх взаємозв'язок. Забезпечення якості наноструктур зумовлює подовження терміну експлуатації виробів на їх основі, тобто подовжується життєвий цикл продукції. Крім того, знижується ймовірність виділення наночастинок у довкілля через стабілізацію поверхневих властивостей зразків. Це сприяє експлуатаційній надійності наноструктур і підвищенню рівня техногенно-екологічної безпеки.

Управління якістю наноструктур розглянемо на прикладі одного з методів синтезу наноструктурованих поверхонь – електрохімічному травленні

кристалів. Цей метод є загальноживим завдяки простоті, дешевизні і відсутності необхідності у високотехнологічному обладнанні. Технологія методу постає у тому, що оброблюваний кристал поміщають у електролітичну комірку з розчином електроліту. Як катод виступає пластина платини, анод – напівпровідник. Під час пропускання електричного струму на поверхні кристалу формуються наноструктури. Для нанопродуктів застосовуваних у виробі мікроелектроніки й фотоелектричних перетворювачах енергії, наноструктури здебільшого являють собою поруваті шари.

Кажучи про управління процесом електрохімічного формування пор на поверхні напівпровідників, розглянемо систему управління в цілому та її підсистему – «напівпровідник – електроліт». Оскільки на підсистему – «напівпровідник – електроліт» діє безліч зовнішніх факторів, то вона є відкритою. Суб'єктом системи управління виступатиме процес електрохімічної обробки кристалів, а об'єктом управління, тобто керованою системою, вважатимемо підсистему «напівпровідник – електроліт». Стан керованої системи залежить від зовнішніх впливів, впливів з боку керуючого органу (управління) і дій самої керованої системи (рисунок 2). Під діями керованої системи розуміємо процеси самоорганізації утворення наноструктур на поверхні напівпровідників.

Основне завдання управління процесом електрохімічного розчинення кристалу (УПЕРК) полягає у здійсненні таких управлінських дій, які дадуть змогу забезпечити необхідний стан керованої системи. До того ж при цьому буде врахована інформація про зовнішні дії. Розгорнена схема з поясненням структурних компонентів і їх взаємодії представлена на рисунку 3.



Рисунок 2 – Загальна схема системи управління процесом електрохімічного розчинення кристалу

Зовнішнє середовище слід розуміти як сукупність всіх об'єктів/суб'єктів, що не входять в дану систему, і об'єктів/суб'єктів, чії властивості змінюються в залежності від стану системи (рисунок 4). Змінювання їх властивостей впливає на досліджувану систему.

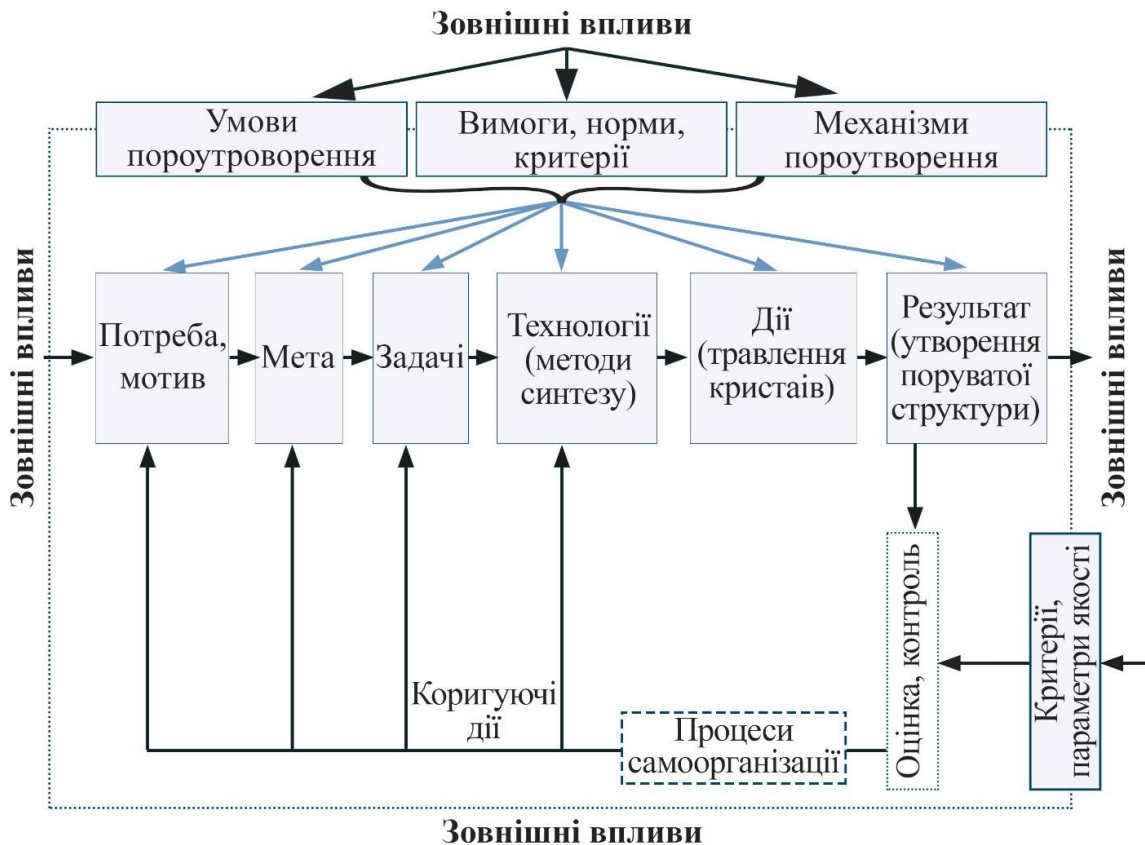


Рисунок 3 – Структурні компоненти розгорнутої схеми системи управління технологічним процесом електрохімічного розчинення кристалу



Рисунок 4 – Зовнішні впливи, що діють на систему «напівпровідник/електроліт»

Таким чином, під час управління процесом пороутворення на поверхні кристалу слід враховувати:

- умови пороутворення, під якими слід розуміти режими електрохімічної обробки кристалів;
- вимоги, що висуваються до якості одержаних наноструктур;
- механізми, що лежать в основі процесу пороутворення.

Управління процесом електрохімічного розчинення кристалу починається з потреби, що зумовлена необхідністю створення наноматеріалів із заданими властивостями. Це стає можливим лише за умови контрольованості процесу та розуміння основних механізмів, що лежать в основі пороутворення. Задачами управління процесом електрохімічного розчинення кристалу є встановлення таких технологічних режимів, при яких стає можливим отримання наноструктур із прогнозованими та програмованими властивостями. При цьому насамперед необхідно визначитися з методами синтезу наноструктур, які враховують додаткові умови й впливів зовнішніх факторів. Далі обирається певна дія (або набір дій), яка з урахуванням впливу навколишнього середовища призводить до певного результату діяльності. Вибір дій ґрунтується на визначенні етапів формування наноструктур і визначається безпосереднім їх виготовленням.

Для оцінки результату отриманні наноструктури порівнюють з еталонними за заздалегідь визначеними критеріями якості. При цьому вибір критеріїв зазвичай диктується цілями оцінки. Оцінка відбувається на основі аналізу дослідження поверхні кристалу.

Висновки. Таким чином, у статті представлено елементи системи управління якістю наноструктур

як підсистеми управління екологічною безпекою. Управління якістю наноструктур розглянуто на прикладі одного з методів синтезу наноструктурованих поверхонь – електрохімічному травленні кристалів. Показано, що при побудові системи управління процесом пороутворення на поверхні кристалу необхідно враховувати умови синтезу наноматеріалів, вимоги, що висуваються до якості одержаних структур та механізми, що лежать в основі процесу формування наноструктурованих поверхонь. Для оцінки якості продуктів нанотехнологій було встановлено основні етапи життєвого циклу продуктів нанотехнологій. На кожному з етапів життєвого циклу проаналізовано основні фактори, що впливають на якість наноструктур. Показано, що оцінка контролю якості виробництва та застосування наноматеріалів повинна включати багаторівневу ієрархічну систему контролю якості нанотехнологічної продукції, яка на кожному з рівнів відображатиме систему контролю та надасть можливість простежити процес застосування наноматеріалів на всіх стадіях життєвого циклу.

Подяка

Робота була виконана в рамках наукових держбюджетних досліджень:

– «Наноструктуровані напівпровідники для енергоефективних екологічно безпечних технологій, що підвищують рівень енергозбереження та екологічної безпеки урбосистеми» (державний реєстраційний номер 0116U006961);

– «Розробка технологи оцінювання показників якості та безпеки продуктів нанотехнологій протягом життєвого циклу» (державний реєстраційний номер 0116U006961).

ЛІТЕРАТУРА

1. Golinko, V. I. Reserch of air and dust balance in inclined shaft of the mine No. 9–10 at Marganetskiy Dressing Plant / V. I. Golinko, I. O. Luts, Ye. A. Yavorskaya // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2012. – № 3. – P. 98–101.
2. Voitiuk, Y. Y. Ecological and geochemical assessment of the soil contamination levels in the areas of metallurgical enterprises operation / Y. Y. Voitiuk, I. V. Kuraieva, A. A. Kroik, A. V. Pavlychenko // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2014. – №. 4. – P. 45–51.
3. Рашкевич, Н. В. Исследование состава продуктов горения синтетического волокна [Текст] / Н. В. Рашкевич // East journal of security studies. – Vol. 1/2017. – P. 194–201.
4. Yamaguchi, S. Incineration of waste containing nanomaterial [Text] / S. Yamaguchi // Environment Policy Committee. – ENV/EPOC/WPRPW(2013)3/final – 2015. – 14 p.
5. Алексеева, О. Финансирование и рынок [Текст] / О. Алексеева // ПерсТТМ. – 2011. – Т. 18. – Вып. 11/12. – 4 с. – Режим доступа: http://perst.ispp.ras.ru/Control/Inform/perst/2011/11_11_12/index.htm.
6. Watson-Wright, C. et al. Toxicological implications of released particulate matter during thermal decomposition of nano-enabled thermoplastics [Text] / C. Watson-Wright et al. // NanoImpact. – Vol. 5(2017). – P. 29–40.
7. Suchikova, Y. A. Sulfide passivation of indium phosphide porous surfaces [Text] / Y. A. Suchikova // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2017. – Vol. 5. – Issue 4. – P. 04001-1–04001-4.
8. Waste containing nanomaterials / The Organisation for Economic Cooperation and Development. – Available: <http://www.oecd.org/environment/waste/nanowaste.htm>.
9. Suchikova, Y. A. Synthesis of indium nitride epitaxial layers on a substrate of porous indium phosphide / Y. A. Suchikova // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2015. – Vol. 7. – Issue 3. – P. 03017-1–03017-3.
10. Al-Saleh, M. H. Carbon nanofiber/polyethylene nanocomposite: Processing behavior, microstructure and electrical properties [Text] / M. H. Al-Saleh, G. A. Gelves, U. Sundararaj // Materials & Design (1980-2015). – December, 2013. – Vol. 52. – P. 128–133.
11. Sahoo, N. G. Polymer nanocomposites based on functionalized carbon nanotubes [Text] / N. G. Sahoo, S. Rana, J. W. Cho et al. // Progress in Polymer Science. – Vol. 35. – Issue 7. – July, 2010. – P. 837–867. – Available: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.03.002>.
12. Dušica, B. S. Transparent PMMA/silica nanocomposites containing silica nanoparticles coating under supercritical conditions [Text] / B. S. Dušica, L. Brajović, A. Orlović et al. // Progress in Organic Coatings. – April, 2013. – Vol. 76(4). – P. 626–631.
13. Perkgoz, N. K. Photocatalytic hybrid nanocomposites of metal oxide nanoparticles enhanced towards the visible spectral range [Text] / R. S. Toru, E. Unal, M. A. Sefunc et al. // Applied Catalysis B: Environmental. – 9 June 2011. – Vol. 105. – Issues 1–2. – P. 77–85. – Available: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2011.03.037>.
14. Singh, D. End-of-life thermal decomposition of nano-enabled polymers: effect of nanofiller loading and polymer matrix on by-products [Text] / D. Singh, G. A. Sotiriou, F. Zhang et al. // Environmental Science: Nano. – 2016. – Vol. 3. – Issue 6. – P. 1293–1305. – doi: 10.1039/C6EN00252H.
15. Шаимова, А. М. Изучение факторов метангенерации в условиях полигона твердых бытовых отходов [Текст] / А. М. Шаимова, Л. А. Насырова, Р. Р. Фасхутдинов // Башкирский химический журн. – 2011. – № 2. – С. 172–176. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-faktorov-metangeneratsii-v-usloviyah-poligona-tverdyh-bytovyh-othodov>.
16. Осипова, Т. А. Прогнозирование выхода биогаза и температуры полигона твердых бытовых отходов на основе математического моделирования [Текст] / Т. А. Осипова, Н. С. Ремез // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – Вип. 3/2015(92). – С. 144–149.
17. Beaudrie, C. Фонд химического наследия. Новые нанотехнологии и регулирование жизненного цикла: исследование федерального нормативного надзора за производством наноматериалов до конца 2010 года. – Режим доступа: <http://www.chemheritage.org/Downloads/Publications/White-Papers/Studies-in-Sustainability/Beaudrie.pdf>.
18. Suchikova, Y. A. Preparation of nanoporous n-InP (100) layers by electrochemical etching in HCl solution [Text] / Y. A. Suchikova, V. V. Kidalov, G. A. Sukach // Functional Materials. – 2010. – № 17(1). – P. 131–134.
19. Lazarenko, A. S. Model of Formation of Nano-Sized Whiskers Out of Channels of the Triple Junctions of Grain Boundaries of Polycrystal [Text] / A. S. Lazarenko // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2011. – Vol. 3. – Issue 4. – С. 59.
20. Seager, T. P. Coupling Multicriteria Decision Analysis and Life Cycle Assessment for Nanomaterials [Text] / T. P. Seager, I. Linkov // Journal of Industrial Ecology. – 2008. – Vol. 12. – Issue 3. – P. 282–285.
21. Suchikova, Y. A. Blue shift of photoluminescence spectrum of porous InP [Text] / Y. A. Suchikova, V. V. Kidalov, A. A. Konovalenko, G. A. Sukach // ECS Transactions. – 2010. – Vol. 25(24). – P. 59–64.

22. Rajendran, V. Development of Nanomaterials from Natural Resources for Various Industrial Applications [Text] / V. Rajendran // *Advanced Materials Research*. – 2009. – Vol. 67. – P. 71–76.
23. Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle [Text] / S. Vambol, V. Vambol, Y. Suchikova, N. Deyneko // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol 1. – № 10 (85). – P. 27–36.
24. Jones, R. Are natural resources a curse? [Text] / R. Jones // *Nature Nanotechnology*. – 2007. – № 2. – P. 665–667.
25. Efros, A. L. Origin and control of blinking in quantum dots [Text] / A. L. Efros, D. J. Nesbitt // *Nature Nanotechnology*. – 2016. – № 11. – P. 661–671.

Стаття надійшла до редакції 05.11.2017 р.

I. Bogdanov, Y. Suchikova, S. Vambol, V. Vambol

ENSURING OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF NANOMATERIALS BY CONTROLLING THE QUALITY OF NANOSTRUCTURES

The relevance of the study is explained by the fact, that more than 50 countries conduct research and development in the field of nanotechnology and at least 30 countries have their own national programs in this field. In this paper, the main stages of the life cycle of nanotechnology products and their impact on the environment. The elements of a quality management system for nanostructures that are responsible for the environmental safety of nanoproducts used in microelectronics and photoelectric energy converters. Ensuring the quality of nanostructures leads to the extension of the life of the products on their basis, that is, the life cycle of products. In addition, the probability of nanoparticle release into the environment is reduced through the stabilization of the surface properties of the samples. Structural components of the detailed scheme of the control system for the technological process of electrochemical dissolution of a crystal. The tasks of controlling the process of electrochemical dissolution of a crystal are the establishment of such technological regimes in which it becomes possible to obtain nanostructures with predictable and programmable properties taking into account external factors.

Keywords: environmental safety, nanomaterials, quality management, life cycle.

И. Т. Богданов, Я. А. Сычикова, С. А. Вамболь, В. В. Вамболь

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАНОМАТЕРИАЛОВ ПОСРЕДСТВОМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НАНОСТРУКТУР

Актуальность исследования объясняется тем, что более 50 стран ведут исследования и разработки в области нанотехнологий и не менее 30 стран имеют свои национальные программы в этой области. В этой работе определены основные этапы жизненного цикла продуктов нанотехнологий и их влияние на окружающую среду. Установлены элементы системы управления качеством наноструктур, которые отвечают за экологическую безопасность нанопродуктов применяемых в изделиях микроэлектроники и фотоэлектрических преобразователях энергии. Обеспечение качества наноструктур приводит к продлению срока эксплуатации изделий на их основе, то есть увеличивается жизненный цикл продукции. Кроме того, снижается вероятность выделения наночастиц в окружающую среду через стабилизацию поверхностных свойств образцов. Представлены структурные компоненты развернутой схемы системы управления технологическим процессом электрохимического растворения кристалла. Задачами управления процессом электрохимического растворения кристалла является установление таких технологических режимов, при которых становится возможным получение наноструктур с прогнозируемыми и программируемыми свойствами с учетом внешних факторов.

Ключевые слова: экологическая безопасность, наноматериалы, управление качеством, жизненный цикл.

UDK 504.064

M. Kustov, PhD, Associate Professor, Doctoral Student
 V. Kalugin, DSc, Professor, Professor of Department
 National University of Civil Protection of Ukraine
 Chernyshevska Str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023

MODIFICATION OF PYROTECHNIC COMPOSITION TO EFFECTIVELY NEUTRALIZE ACIDIC AND CHEMICALLY HAZARDOUS ATMOSPHERIC PRECIPITATION

In this article the problem of reducing environmental hazards of the region from acid rain and emissions of chlorine and phosgene in emergency situations of anthropogenic nature has been solved. For this purpose, a new composition of the pyrotechnic charge capable under certain conditions to initiate precipitation and to neutralize their acidity has been developed. Various modifications of the developed composition lead to active sedimentation of both supercooled clouds and clouds with a temperature above 12 °C. The main pyrotechnic properties of the developed composition have been checked experimentally. It is shown that additive of cellulose allows to obtain an additional amount of alkali in the combustion component of pyrotechnic composition and to an increase in the degree of neutralization of the acidity of the sediments. For the purpose to increase the degree of neutralization of highly toxic gases – chlorine and phosgene, modification of pyrotechnic composition with sodium hydroxide addition is offered. A method is proposed for neutralizing chlorine and phosgene by inoculating the zone of contamination with sodium alkali using light aviation.

Keywords: atmospheric precipitation, pyrotechnic composition, acid rain, chemical neutralization, the initiation of precipitation.

Problem statement. At emergence of scale technogenic accidents the huge amount of dangerous chemicals gets to the atmosphere. The structure and physical and chemical properties of these substances depend by nature and a history of technogenic accidents. Thus, large natural and technogenic catastrophes are the reason of larger damages and the human victims and the environmental degradation situation in the region.

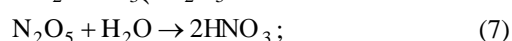
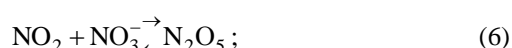
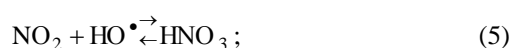
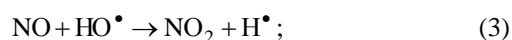
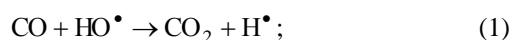
Atmospheric precipitation over the pollution territory significantly accelerates process of the atmosphere cleaning. There is a need to increase intensity of process cleaning. It can be carried out due to introduction to the atmosphere of express chemical reagents which increase the speed of a sorption of dangerous particles drops of a rain or neutralize their negative impact. Because various poisoning and radioactive substances significantly differ on the physical and chemical properties, chemical reagents efficiently can influence only a particular class of pollutants with similar properties. As a result of the major natural and technogenic fire the widest range of various dangerous substances gets to the atmosphere. Therefore, development of express pyrotechnic compositions which are capable to simulated initiation of precipitation and to neutralization of negative effect of pollutants is a topical task.

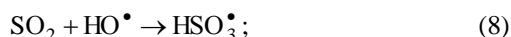
Analysis of the recent researches and publications. The qualitative and quantitative structure of combustion gases significantly depends on a type of combustible substance and combustion conditions (temperature, concentration of an oxidizer and a reducer). Principal components of combustion gases are CO₂, CO, NO, NO₂, SO₂, soot and ashes [1-3]. It is known that an atmospheric precipitation is capable to occlude efficiently dangerous chemical and radioactive substances. Also, an precipitation can besiege these substances from the atmosphere [4–6]. Intensity of

cleaning of the atmosphere with settlings depends on intensity of precipitation and physical and chemical properties of the besieged substances [7, 8]. Various reagents are used for simulated initiation of precipitation. Use of pyrotechnic compositions in the form of aerosol generators or pyros [9] is the most efficient solution of delivery and dispersion of reagents. However, the existing structures of pyros cannot be used for neutralization of negative effect of pollutants.

Statement of the problem and its solution. The purpose of work is development of the pyrotechnic composition having properties of initiation of an atmospheric precipitation and neutralizations of their acidity and the contained toxiferous components.

Among light-end products of combustion CO, NO, NO₂, SO₂ have the greatest reactivity. At hit in the atmosphere these combustion gases react with atmospheric gases. The lower troposphere, except H₂O, O₂ and rather inert CO₂ and N₂, contains highly active radicals – hydroxyl HO[•], hydro-peroxide HO₂[•] and NO₃ [10] nitrate ions. Such radicals appear in the atmosphere under the influence of an ultra-violet radiation, and, therefore, their concentration increases with height. However due to the high activity they have significant effect on chemical processes and in the lower troposphere. Reactive components of combustion gases react with radicals according to the following schemes:



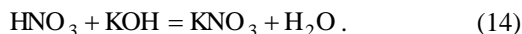
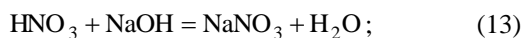
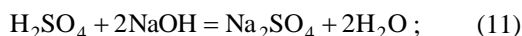


Apparently from the equations of reactions (1)–(10), as a result of chemical transformations of NO, NO₂, SO₂ in the atmosphere nitric and sulfuric acids have been formed. These acids are occluded by water microdrops. Aqueous solutions drops of acids prolapses out at particular weather conditions that does essential harm to crops and other vegetation. Proceeding from it the acid removal method until its hit on the Earth's surface due to dispersion of finely divided alkali has been offered one of methods of fight against acid settlings. Introduction to the atmosphere of finely divided alkali can be carried out due to use of pyrotechnic compositions [11].

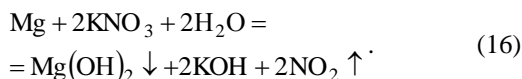
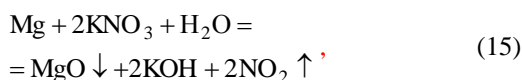
The most available alkalis are oxyhydroxides of sodium and a potassium (NaOH, KOH). Besides, these alkalis are well dissolved in water and decaying on ions. That results in their high activity at neutralization of water acid baths. As the principal combustible components of pyrotechnic composition for dispersion of alkali finely divided powders of aluminum and a magnesium (ASD-4, MPF-4), nitrate of potassium (KNO₃) as an oxidizer and organic pitch (CKH 26) as binding are chosen. Composition of PS-1-0: MPF-4 – 7 %; ASD-4 – 4 %; KNO₃ – 79 %; SKN of 26 – 10 %.

Composition is formed as the cylindrical extended sword by a diameter $d = 20$ mm and long $l = 150$ mm. Lighting of pyrotechnic composition takes place an electric spark method.

Finely divided alkalis (NaOH, KOH) do not take part in combustion process. As a result of explosive charge combustion of a particle of alkali are sprayed and contacted to acid atmospheric creation and neutralize them on reactions (11)–(14):



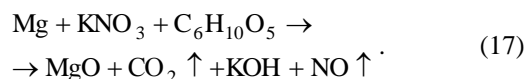
As, the specified alkalis have rather low boiling point (T_{boil} (NaOH) – 1676 K; T_{boil} (KOH) – 1600 K), at combustion of an explosive charge occurs their sublimation that leads to a padding dispersion of particles of alkali. The padding amount of alkali can be formed as a result of combustion reaction of metals with potassium nitrate on the following equations:



Apparently from the equations (15)–(16), additional creation of potassium hydroxide requires presence of

molecules of water. In spite of the fact that at the atmosphere constantly there is a moisture, at the expense of a powerful stream superheated reaction products hit of molecules of water in a reaction zone of combustion explosive charge is extremely complicated.

Ensuring reactionary volume with water introduction of combustible hydrogenous components immediately in an explosive charge allows to solve a problem. Organic compounds can be such components. From the technological point of view organic matters for formation of an explosive charge have to be in solidity under normal conditions. As such additive it is possible to use cellulose. Combustion of an explosive charge on a molecular scale happens to cellulose additive according to the scheme:



At the same time practically all atoms of a potassium participating in process of combustion form potash alkali. It in addition increases intensity of neutralization of acid atmospheric creation at combustion of pyrotechnic mix.

After the choice of components of a pyrotechnic composition it is necessary to decide on mass composition.

Definition of efficient mass composition was carried out experimentally by measurement of burn speed and combustion temperature. An experiment was conducted in the isolated chamber (figure 1).

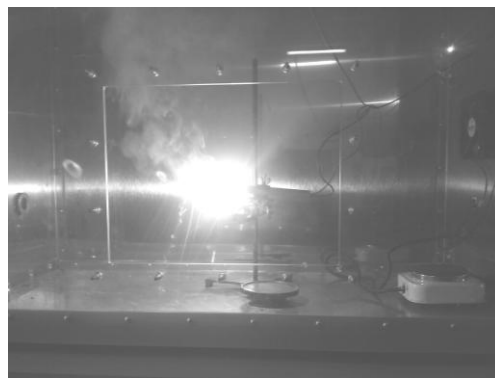


Figure 1 – Experimental research of pyrotechnic composition burning parameters

As a result of experiments it was determined a low probability of ignition of the electric-spark method. This negative phenomenon is also associated with the presence of the oxide film, which prevents the initiation of the combustion process. The melting temperature for MgO film is much higher than for the oxide film of aluminum, which, apparently, affects the low probability of ignition compositions with magnesium. To eliminate this drawback it is proposed to use a two-layer structure of a charge, with a thin layer of the initiating composition based on potassium perchlorate and graphite (KClO₄ + C) in the area of ignition and the main working part with the use of potassium nitrate and metals (figure 2).

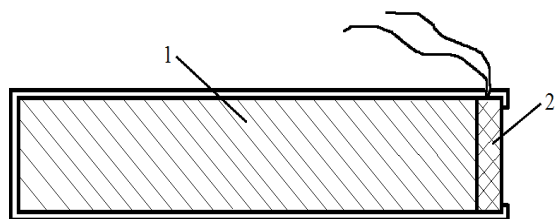


Figure 2 – Structure of two-layer pyrotechnic composition: 1 – main composition; 2 - initiator burning composition

The test results of the two-layer compositions show that the introduced changes do not affect the burning intensity within the measurement error, but the probability of ignition in all series was 100 %.

On pyrotechnic properties pyrotechnic composition, in addition to the chemical nature of the combustible mixture, significantly influences the polydispersity of fuel relative to the oxidizer and the total dispersion.

Results of the experimental research are presented in tables 1 and 2. In the beginning the structure with addition only of potash alkali as main neutralizer of acidity has been investigated.

Table 1 – Main combustion parameters of pyrotechnic compositions for deacidizing without cellulose addition

Composition	Content KOH, % mass	Burn Speed, $10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	Burn temperature, K
PC-1-0	0	$3,3 \pm 0,1$	1870 ± 20
PC-1-1	10	$3,1 \pm 0,1$	1850 ± 20
PC-1-2	20	$3,1 \pm 0,1$	1820 ± 20
PC-1-3	30	$2,9 \pm 0,1$	1820 ± 20
PC-1-4	40	$2,7 \pm 0,1$	1810 ± 20
PC-1-5	50	$2,6 \pm 0,1$	1800 ± 20
PC-1-6	60	$2,3 \pm 0,1$	1780 ± 20
PC-1-7	70	$\sim 2,1$ (blowout)	1750 ± 20
PC-1-8	80	$\sim 2,0$ (blowout)	1720 ± 20

Table 2 – Main combustion parameters of pyrotechnic compositions for deacidizing with cellulose addition

Composition	Content KOH, % mass	Content cellulose, % mass	Burn Speed, $10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	Burn temperature, K
PC-1-51	50	5	$2,4 \pm 0,1$	1790 ± 20
PC-1-52	50	10	$2,4 \pm 0,1$	1780 ± 20
PC-1-53	50	15	$2,4 \pm 0,1$	1760 ± 20
PC-1-61	60	5	$2,1 \pm 0,1$	1750 ± 20
PC-1-62	60	10	(blowout)	1720 ± 20
PC-1-63	60	15	(blowout)	1710 ± 20
PC-1-71	70	5	(blowout)	1700 ± 20

Results of an experiment showed that addition of potash alkali to 60–65 % (mass) allows to keep steady combustion of pyrotechnic composition. Cellulose addition reduces combustible properties of an explosive charge as a result of quantity replacement of the active combustible components with cellulose a little. However the structure of PC-1-61 from 60 % the KOH and 5 % of cellulose possesses steady combustion and can be used at neutralization of acid precipitation. Besides, the magnesias formed at combustion and aluminum are the centers of teardrop that leads to padding initiation of process of sludge formation.

In addition it is possible to accelerate sludge formation process due to introduction to pyrostructure of AgI or NaCl from calculation that the total of the modifying additives should not exceed 65 % mass.

Use of the offered structure for simulated sludge formation allows to initiate settlings over a zone of the major natural and technogenic fire that leads to a deposition from the atmosphere of harmful combustion gases and prevents formation of an acid atmospheric precipitation by their neutralization.

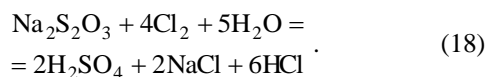
The separate group of toxic substances is made by chlorine and phosgene. Unlike ammonia, chlorine (Cl_2) and phosgene (COCl_2) have extremely low water solubility. The main physical and chemical properties of these gases are given in table 3.

Low solubility of chlorine and phosgene in water testifies to low intensity of a deposition of these gases an atmospheric precipitation. Therefore, for increase in cleaning speed of the atmosphere in aquacondensate it is necessary to include neutralizers in addition.

Table 3 – Some physical and chemical properties of chlorine and phosgene neutralizers

Gases	Boiling temperature, K	Decomposition temperature, K	Water solubility at 273 K, g/100 g
Cl_2	239	~ 1680	1,5
COCl_2	282	~ 1075	0,9

The most active neutralizer of chlorine is sodium thiosulfatum:

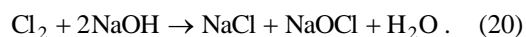


According to (18) neutralization of 1 ton of chlorine requires about 0,5 ton of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Apparently from (18), reaction proceeds in aqueous solutions. It is necessary to consider however that Sodium thiosulfatum is combustible and explosive substance – when heating to 220 °C it decompose according to the scheme:



Proceeding from it, use of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ as additives in explosive charges is strictly forbidden.

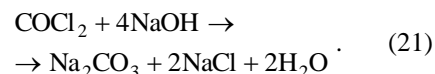
Efficient neutralizer of chlorine is sodium hydroxide:



Neutralization of 1 ton of chlorine requires 1,2 ton of NaOH. Hydroxide of sodium is well dissolved in water. Therefore in practice of decontamination usually use aqueous solutions. Apparently from (20), at chlorine neutralization alkali in addition forms salts which desublimated in water-absorbing crystals, and water. Formation of such reaction products (water-absorbing crystals) positively influences sludge formation process.

Not less dangerous substance getting to the atmosphere at technogenic accidents (especially at large fire), is phosgene (COCl_2). In express literature phosgene carries the name «carbonyl dichloride». In the nature phosgene does not exist and was widely adopted in chemical industry where it is used as the intermediate product by production, in particular, of dyes, pesticides, pharmaceuticals, polymers, pitches and hardeners. Annual world production makes about 5 million tons. Phosgene is formed at thermal decomposition or a photo-oxidation of chlorinated solvents, and also at combustion of polyvinylchloride.

In spite of the fact that phosgene has low water solubility (table 3), but as well as chlorine is actively neutralized by sodium hydroxide:



Follows from the equation of reaction (20) that is necessary for neutralization of 1 ton of phosgene for 1,6 ton of sodium alkali or 16 ton of its 10 % aqueous solution.

Pyrotechnic compositions with additives of alkalis have been considered earlier. Similar properties of potassium and sodium alkalis allow to replace them as a part of an explosive charge without essential changes of combustion parameters. So, by analogy with structure of PC-1-6 whereas non-combustible addition agent there are 60 % the KOH, properties of composition PC-1-61 from 60 % of NaOH have been investigated. As a result of the experimental researches it is established that this structure has burn speed $(2,4 \pm 0,1) 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ and combustion temperature $(1790 \pm 20) \text{ K}$. At limit of permissible error these parameters correspond to parameters of combustion composition PS-1-6.

In case of adverse weather conditions for simulated initiation of precipitation use of a method of dispersion of finely divided reagent (NaOH) with light piloted and unmanned aerial vehicles is in the pneumatic method expedient.

Considering that the molar mass of chlorine and phosgene is more than molar mass of air, the greatest concentration of these dangerous gases is localized in a ground layer of the atmosphere. It gives the chance to efficiently use light aircraft for cloud seeding of chlorine or phosgene. It allows to lower significantly the material costs at irritation liquidation.

Conclusions. In article the pyrotechnic composition of dual purpose is developed: for simulated initiation of precipitation and for efficient deacidizing of the rains and fogs formed at the scale natural and technogenic fires. Mass contains pyrotechnic composition to 65 %. The KOH and also cellulose which promotes additional creation of alkali in reaction of combustion charge explosive. Modification of the developed composition with use of NaON allows to neutralize efficiently such dangerous gases as chlorine and phosgene.

REFERENCES

1. Сигал, И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива [Текст] / И. Я. Сигал. – Л.: Химимя, 1988. – 312 с.
2. Сучков, В. П. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами [Текст] / В. П. Сучков, И. Ф. Безродный, А. В. Вязниковцев и др. // Обз.инф.: сер. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – М.: ЦНИИТЭФТЕХИМ, 1992. – Вып. 3–4. – 97 с.
3. Кустов, М. В. Химически опасные выбросы в атмосферу при техногенных авариях на предприятиях Украины [Текст] / М. В. Кустов // Безопасность в техносфере. – М., 2015. – № 3. – С. 16–21.
4. Алоян, А. Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере [Текст] / А. Е. Алоян. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201 с.
5. Greenfield, S. M. Rain scavenging of radioactive particulate matter from the atmosphere [Text] / S. M. Greenfield // Journal of Meteorology. – 1957. – № 14. – P. 115–123. – doi:10.1175/1520-0469(1957)014.
6. Kim, Y.-H. Influence of radioactivity on surface charging and aggregation kinetics of particles in the atmosphere [Text] / Y.-H. Kim, S. Yiacoumi, I. Lee et al. // Environ. Sci. Technol. – 2014. – № 48. – P. 182–189. – doi:10.1021/es4047439.

7. Slinn W.G.N. Precipitation scavenging, in: Atmospheric Science and Power Production [Text] / W.G.N. Slinn // Tech. Inf. Cent. – Washington, 1984. – P. 466–532.
8. Fuchs N. A. The Mechanics of Aerosols [Text] / N. A. Fuchs. – Dover Publications, 1989. – 457 p.
9. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы [Текст] / Л. Г. Качурин. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 463 с.
10. Carslaw N. Modeling OH, HO₂, and RO₂ radicals in the marine boundary layer 2. Mechanism reduction and uncertainty analysis [Text] / N. Carslaw, P. J. Jacoba, M. J. Pilling // J. Geophys. Res. – 1999. – № 104. – P. 30257–30273.
11. Пат. 108420 України, МПК G06D 31/02 (2016.01) Піротехнічний склад для штучного опадоутворення / Калугін В. Д., Кустов М. В.; патентовласник: Національний університет цивільного захисту України. – № 201601505; заявл. 18.02.2016; опубл. 11.07.2016. – Бюл. № 13.

Стаття надійшла до редакції 29.10.2017 р.

М. В. Кустов, В. Д. Калугін

МОДИФІКАЦІЯ ПІРОТЕХНІЧНИХ СКЛАДІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ КИСЛОТНИХ ТА ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ

В роботі вирішується завдання зниження екологічної небезпеки регіону від кислотних опадів і викидів хлору та фосгену при виникненні надзвичайної ситуації техногенного характеру. З цією метою розроблено новий склад піротехнічного заряду, здатний за певних умов ініціювати атмосферні опади та нейтралізувати їх надмірну кислотність. Різні модифікації розробленого складу призводять до активного опадоутворення, як переохолоджених хмар, так і хмар з температурою вище 12 °С. Основні піротехнічні властивості розробленого складу перевірені експериментально. Показано, що введення целюлози в цей склад сприяє генерації додаткової кількості луку (в результаті горіння компонент пірозарядом) та підвищення ступеня нейтралізації кислотності опадів. З метою підвищення ступеня нейтралізації високотоксичних газів – хлору та фосгену, запропонована модифікація піротехнічного складу з додаванням гідроксиду натрію. Запропоновано метод нейтралізації хлору та фосгену шляхом засіву зони забруднення натрієвим лугом з використанням легкоматорної авіації.

Ключові слова: атмосферні опади, піротехнічний склад, кислотні дощі, хімічна нейтралізація, ініціювання опадів.

М. В. Кустов, В. Д. Калугін

МОДИФИКАЦИЯ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИСЛОТНЫХ И ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

В работе решается задача снижения экологической опасности региона от кислотных осадков и выбросов хлора и фосгена при возникновении чрезвычайной ситуации техногенного характера. С этой целью разработан новый состав пиротехнического заряда, способный при определенных условиях инициировать атмосферные осадки и нейтрализовать их избыточную кислотность. Различные модификации разработанного состава приводят к активному осадкообразованию, как переохлажденных облаков, так и облаков с температурой выше 12 °С. Основные пиротехнические свойства разработанного состава проверены экспериментально. Показано, что введение целлюлозы в этот состав способствует генерации дополнительного количества щелочи (в результате горения компонент пирозаряда) и повышению степени нейтрализации кислотности осадков. С целью повышения степени нейтрализации высокотоксичных газов – хлора и фосгена, предложена модификация пиротехнического состава с добавлением гидроксида натрия. Предложен метод нейтрализации хлора и фосгена путем засева зоны загрязнения натриевой щелочью с использованием легкоматорной авиации.

Ключевые слова: атмосферные осадки, пиротехнический состав, кислотные дожди, химическая нейтрализация, инициирование осадков.

УДК 548.55 : 504:054

О. М. Кудин, д. т. н., ст. наук. співр., проф. каф.

В. К. Мунтян, к. т. н., доц., зав. каф.

Т. М. Олійник, курсант

Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

К. О. Кудин, к. т. н., наук. співр.

НТК «Інститут монокристалів» НАН України
пр. Науки, 60, м. Харків, Україна, 61001

РОЗРОБКА БЕЗПЕЧНОГО СПОСОБУ ОТРИМАННЯ КРИСТАЛІВ $CsI:Tl$ З РАДІОНУКЛІДАМИ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В РАДІОЕКОЛОГІЧНОМУ МОНІТОРИНГУ

Запропоновано безпечний спосіб отримання скінтіляторів для радіоекологічного моніторингу. Методом спрямованої кристалізації в кварцових ампулах вирощено кристали $CsI:Tl$, які не прилипають до матеріалу контейнера і не руйнуються при охолодженні. Спосіб виключає операцію поверхневого оплавлення злитка, що суттєво зменшує викиди шкідливих речовин і енерговитрати. Спектри коливального поглинання отриманих кристалів $CsI:Tl$ і CsI не мають смуг, що обумовлені іонами OH^- і CO_3^{2-} , а електронне поглинання у видимій області після опромінення не має смуг центрів забарвлення F_- й F_A -типу. Спектрометричні характеристики вирощених кристалів не поступаються еталону. Метод рекомендовано для вирощування скінтіляторів з ізотопами, що введені до кристалічної ґратки, і відрізняється дегідратацією сировини при $T \leq 40^\circ C$ в умовах, що виключають фотоліз соли.

Ключові слова: екологічна безпека, радіоекологічний моніторинг, ріст кристалів, поверхнєве оплавлення, скінтіляційні характеристики.

Постановка проблеми. Скінтілятори з внутрішніми ізотопами використовуються в радіоекологічному моніторингу і геологорозвідці, особливо вони цінні при роботі в польових умовах [1, 2]. Для моніторингу використовують кристали з внутрішнім альфа-репером, який в іноземній літературі називають пульсаром (*Am-pulsar*) [3, 4].

Положення опорного піка в шкалі енергій гамма-квантів називається гамма-еквівалентом (G_{eq}) і використовується для стабілізації електронного тракту скінтіляційного детектора. Принцип роботи такого детектора пояснює рисунок 1, що приведено за даними каталогу [4].

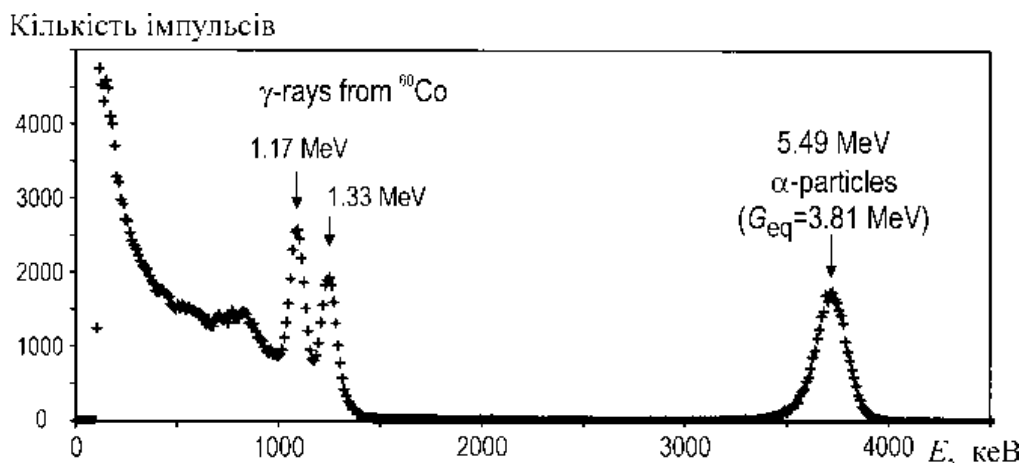


Рисунок 1 – Амплітудний спектр кристала $CsI:Tl$ з альфа-репером ^{241}Am . Положення альфа-піка в енергетичній шкалі відповідає гамма-еквіваленту 3,81 MeV. Спектр зовнішнього джерела ^{60}Co , добре виділені дві лінії при 1,17 і 1,33 MeV. З каталогу [4]

У правій частині рисунка зображено опорний сигнал від альфа-частинок з енергією 5,49 MeV від внутрішнього джерела ^{241}Am . Максимум піку повного поглинання відповідає $G_{eq} = 3,81$ MeV. У лівій частині рисунка розташовано спектр

невідомого джерела, що за положенням двох ліній (1,17 і 1,33 MeV) можна ідентифікувати як ізотоп ^{60}Co . В деяких випадках (геологорозвідка) внутрішнім джерелом служить ^{60}Co [5], а пошук

зовнішніх джерел ведуть, наприклад, за гамма-лініями 2,62 (^{208}Th) і 1,76 MeV (^{241}U).

Процес отримання таких кристалів пов'язаний з відповідними труднощами із-за небезпеки забруднення промислових приміщень радіонуклідами. Розміщення ростового обладнання і обслуговуючого персоналу у приміщеннях, що призначені для роботи з відкритими джерелами радіації, приводить до значних витрат. Можливе рішення проблеми запропоновано в [5] і передбачає вирощування кристалів у герметичних кварцових ампулах з використанням технічних рішень, що виключають операцію поверхневого оплавлення злитка. Незважаючи на принципову можливість отримання кристалічних злитків без оплавлення, технологія вирощування таких кристалів виявилася не відтворальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для отримання матеріалів з внутрішніми радіонуклідами невелику кількість потрібного ізотопу вводять до розплаву на стадії росту кристалів разом з іншими легуючими домішками. Сцинтилятори з внутрішніми радіонуклідами не вирощують відкритим способом, наприклад методом Киропулоса, оскільки випаровування компонентів розплаву призводить до забруднення приміщень. Зазвичай такі кристали отримують методом Стокбаргера у герметичних кварцових ампулах [5, 6].

У разі вирощування кристалів CsI:Tl ампульним методом існує принципове обмеження, пов'язане з необхідністю проведення операції поверхневого оплавлення отриманого злитка. При оплавленні порушуються герметичність ампули, виділяються пари йоду і йодиду талію, що призводить до забруднення промислових приміщень шкідливими речовинами, в том числі, і радіонуклідами. Якщо операцію оплавлення опустити, то прилипання поверхні злитка до стінки ампулі призводить до розтріскування кристала при охолодженні. Вірогідність розтріскування тим більша, чим більшого діаметра і висоти необхідно отримати кристал.

Відомо, що взаємодія злитка з кварцом обумовлена наявністю в розплаві і кристалі гідроксид-іонів [6, 7]. Розроблено способи вирощування [8, 9], що запобігають забрудненню розплаву іонами OH^- і CO_3^{2-} , в тому числі включають додаткову обробку розплаву [9, 10] катіонами з метою перевести кисневомісні домішки в нерозчинні сполуки. Недоліком цих способів є неминуче забруднення розплаву катіонами, що вводяться [10], і пов'язаний з ними негативний вплив на функціональні характеристики кристалів.

Постановка завдання та його вирішення. Мета роботи полягала у розробці екологічно безпечного способу вирощування досконалих кристалів CsI:Tl для радіоекологічного моніторингу. Технологія має виключати операцію оплавлення злитка і вірогідність забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами, а також дозволяти отримувати

кристали CsI:Tl без кисневмісних домішок з високими сцинтиляційними характеристиками.

Методика експерименту. Для експериментів використовувалася комерційна сіль фірми Sigma-Aldrich. Відбиралися тільки ті партії солі, що не виявляли виділення «високотемпературної» води [6] в процесі нагрівання. Методика такої перевірки за допомогою термодесорбції газів описана в роботі [11]. За висновками цієї роботи наявність «високотемпературної» води пов'язана з аквакомплексами на основі OH^- внаслідок забруднення солі цією речовиною при зберіганні, або при нагріві вологої солі вище 40 °С.

Вирощувалися кристали двох типів, які розрізнялися методикою підготовки сировини. Тип I відповідав традиційному сушінню йодиду цезію. Заповнення ампул сіллю проводилося в виробничому приміщенні з температурою 20 °С і відносною вологістю 70 % за люмінесцентним освітленням. Заповнена кварцова ампула вакуумувалася до залишкового тиску 0,7 Па і відкачувалася далі протягом 30 хв. Потім температура печі підвищувалася до $T = 560$ °С зі швидкістю 50 °С/год. Підготовлена таким чином ампула з сіллю вважалася готовою для росту кристалу.

Для кристалів типу II сушіння солі проводилося аналогічним чином. Різниця полягала в тому, що для запобігання фотолізу всі операції по заповненню ампули вологою сіллю, її зберіганню і підготовки сировини проводилися при освітленні червоним світлом. Використовувалися ампули діаметром 45 і висотою 180 мм, оскільки для ампули таких розмірів, як правило, не вдається уникнути прилипання кристала до кварцу при стандартному сушінні солі. Висушена сіль в деяких випадках охолоджувалася до кімнатної температури і піддавалася повторній гідратації. Перевірка якості сировини, що була підготовлена таким чином, проведена за методом [11], а результати наших тестів представлено на рисунку 2.

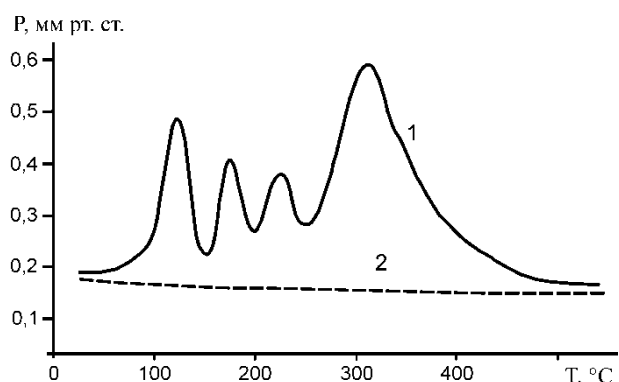


Рисунок 2 – Термічна газова десорбція із солі CsI :
1 – традиційна підготовка сировини;
2 – за пропонуванним методом

Порівнюючи криві 2 і 1, можна зробити висновок про відсутність піків «високотемпературної води» у разі сировини типу II. Така сіль не вмішувала іони

OH^- внаслідок її забруднення при зберіганні і не придбала їх після сушіння.

Після сушіння кристали вирощувалися методом Стокбаргера в цих же ампулах. Розплав не відкачувався. Після плавлення солі, ампула на короткий час піднімалася над піччю для визначення характеру меніску (опуклий або увігнутий), як це описано у [6]. Спрямована кристалізація проводилася при опусканні ампули зі швидкістю 2 мм/год. Після закінчення кристалізації нагрівачі відключалися і злиток повільно охолоджувався разом з піччю.

Вимірювання світлового виходу проводилося на спектрометричному стенді [12] з фотодіодом S3590-08 фірми Hamamatsu відносно еталону. Точність вимірювань за даним методом становила $\pm 3,2\%$ [13]. Вимірювання післясвічення були проведені на приладі NPG3 фірми Heilmann. Анодний струм рентгенівської трубки складав 0,6 мА за напругою 140 кВ. Величина післясвічення визначалася через 100 мс і 5 хв. після закінчення імпульсу збудження тривалістю 1 с.

Для визначення спектрометричних характеристик виготовлялися зразки розміром $10 \times 10 \times 10$ мм, а для вимірювання післясвічення $\varnothing 20 \times 4$ мм. Полірування виробів проводилася з урахуванням рекомендацій [14] щодо мінімізації спотвореного та запобігання утворенню мертвого шару.

Адгезія до кварцу. Найбільш чутливим тестом на наявність аніонів OH^- в розплаві і вирощеному кристалі [6, 7] є характер змочування стінки ампули і прилипання злитка до матеріалу ампули. На відміну від типу I, отримані кристали типу II не прилипали до кварцу, легко витягалися з ампули і не руйнувалися при подальшій механічній обробці. Контроль форми меніска показав, що для типу II він завжди був опуклим. З цієї точки зору, наші результати співпадають з даними [9, 10], де руйнування злитків запобігали додатковою очисткою розплаву.

На базі візуальних спостережень можна припустити, що вирощені кристали не вміщують кисневомісних домішок. Такий висновок підтверджується спектрами коливального поглинання. Дійсно, як це видно з кривої 2 на рисунку 3, вирощені кристали типу II не мають смуг поглинання в ІЧ-області спектра на відміну від типу I, для яких є характерною наявність слабких смуг поглинання, що пов'язані з іонами карбонату.

Відомо, що смуги поглинання (див. рисунок 2) відповідають деформаційним (880 см^{-1}) і валентним (1380 см^{-1}) коливанням іонів CO_3^{2-} [15, 16], а оцінка їх концентрації (C_K) за даними [17] дає змогу заключити, що $C_K \leq 5 \cdot 10^{-5}$ моль%.

Наведені результати відносно кристалів II співпадають з даними [9], де вивчалися кристали CsI -pure, вирощені з домішкою EuI_2 . На відміну від роботи [9], отримані кристали CsI не мають смуг в УФ-частині спектра, обумовлених катіонами Eu^{2+} .

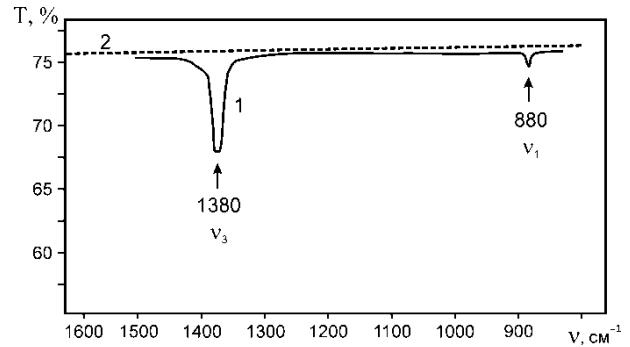
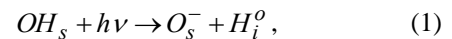


Рисунок 3 – Спектри коливального поглинання отриманих кристалів типу I (1) та II (2)

На жаль зі спектрів ІЧ-поглинання не випливає прямий висновок про відсутність іонів OH^- , внаслідок їх малої сили осцилятора [17].

Утворення радіаційних дефектів. Відомо, що радіаційна стійкість кристалів $CsI:Tl$ критичним чином залежить від домішок OH^- і CO_3^{2-} . Кристали $CsI:Tl$ легко забарвлюються на денному світлі, якщо вони містять навіть слідові кількості зазначених домішок. Пов'язано це з протіканням специфічних радіаційно-хімічних реакцій в кристалічній ґратці. Суть механізму [16] полягає в тому, що під дією радіації відбувається розкладання іонів OH^- за реакцією:



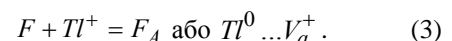
де нижні індекси s й i позначають положення частинки в вузлі або міжвузлі, відповідно.

Атоми водню завдяки великій рухливості легко дифундують по міжвузлях і реагують з іонами карбонату за реакцією:



де V_a^+ – аніонна вакансія.

В результаті реакції (2) з двовалентного карбонат-іону утворюється одновалентний гідрокарбонат, а аніонна вакансія перетворюється у F-центр. У кристалах $CsI:Tl$ утворені F-центри розташовуються поблизу Tl^+ й створюють F_A -центри, що складаються з аніонної вакансії, катіона активатора і електрона [16]



Позначення F_A передбачає локалізацію електрона переважно на аніонній вакансії, а $Tl^0 \dots V_a^+$ – на катіоні талію [17].

Спектри поглинання опромінених кристалів двох типів наведені на рисунку 4.

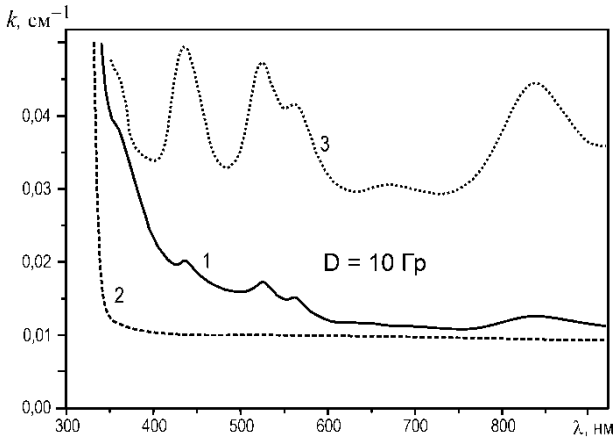


Рисунок 4 – Спектри електронного поглинання кристалів типу I (1) і II (2) (доза опромінення 10 Гр.)

Видно, що на відміну від типу I центри забарвлення F_A за описаним механізмом в кристалах типу II не утворюються. На основі цих даних можна впевнено заключити, що кристали типу II не вміщують ні CO_3^{2-} ні OH^- .

Спектрометричні характеристики. Можна припустити априорі, що зазначені кількості домішок не можуть негативно вплинути на світловий вихід і енергетичне розділення кристалів $CsI:TI$, оскільки концентрація основної домішки (талію) в них набагато більша і дорівнює $C_{TI} \approx 1,1 \cdot 10^{-1} \%$ для зразків розміром $10 \times 10 \times 10$ мм. Дані про характеристики представлено в таблиці для кристалів $CsI:TI$ двох типів порівняно з еталоном.

Таблиця – Характеристики кристалів $CsI:TI$

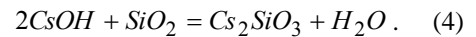
Характеристика	Тип кристалів		
	еталон	I увіг.	II опукл.
Форма меніска		так	ні
Адгезія до матеріалу ампули		так	ні
Наявність ІЧ-поглинання		так	ні
Наявність F-центрів	ні	так	ні
Світловий вихід, фот./МеВ	48 000	48700	48 200
Енергетичне розділення, % (по 137Cs)	4,90	4,82	4,87
Рівень післясвічення, %	100 мс 10 хв.	0,8	0,55 0,07 < 0,005

З даних таблиці дійсно випливає, що світловий вихід вирощених кристалів відповідає еталону. Енергетичне розділення кристалів типу I і II в межах помилки вимірювань не відрізняється від еталону і становить величину $R \sim 4,84 \%$. Слід зауважити, що вимірювання проведені для фіксованого часу формування сигналу $t_{RC} = 12$ мкс.

В таблиці також надано дані про післясвічення вирощених кристалів. Відомо, що вказані домішки

суттєво впливають на тривале післясвічення (через 10 хв.) екранів на основі сцинтиляційного матеріалу $CsI:TI$ [18]. Як видно з даних таблиці, тривале післясвічення кристалів типу II істотно зменшено, в той час коли їх мілісекундне післясвічення залишилось тим самим. Цей факт також підтверджує висновок про відсутність OH^- груп у кристалах типу II.

Обговорення результатів. Отже, встановлено, що запропонований метод підготовки солі до вирощування, дозволяє отримувати кристали $CsI:TI$ високої якості, які не прилипають до стінок кварцової ампули. Однак самі по собі високі значення сцинтиляційних характеристик не є прямим доказом переваги запропонованого способу сушіння сировини. Справа в тому, що розкислювача для кварцу на розплав добре відома [6]. При тривалій витримці розплаву відбувається його очищення за реакцією



У досліджуваних умовах вода, що утворюється внаслідок реакції (4), може випаровуватися з розплаву, конденсуватися на холодних частинах ампули і не брати участі в подальших реакціях. Силікати концентруються на стінках ампули, утворюючи на межі розділу візерунки, схожі на іній. Подібна ситуація характерна для випадку зростання «чистого» кристала з «брудного» розплаву. Таке очищення розплаву матеріалом самої ампули стає неефективним при вирощуванні великогабаритних кристалів. Вище ми вже відзначали, що в даний час знайдено розкислювачі і гетери, що очищають розплав CsI більш ефективно, ніж кварц [9, 10].

Той факт, що вирощені злитки типу II не прилипали до стінок кварцової ампули, а меніск на межі розділу був опуклим, якраз і доповнює наведені дані про відсутність OH^- як в кристалі, так і в розплаві. Джерелом забруднення кристалів зазначеними домішками є процес сушіння, оскільки тестування відібраних партій солі не виявило наявності піків «високотемпературної» води. Висушена сіль в деяких випадках охолоджувалася до кімнатної температури і піддавалася повторній гідратації. Тестування зразків підготовленої солі показало, що поява піків газовиділення, що відповідають «високотемпературній» воді, буває тільки для кристалів типу I.

Таким чином, пропонується спосіб отримання кристалів $CsI:TI$ дозволяє покращити екологічну безпеку процесу росту кристалів, як у відношенні основної домішки (йодид талію), так і радіонуклідів, що вводяться до кристалічної ґратки у випадку вирощування сцинтиляторів для радіоекологічних досліджень. Спосіб не потребує додаткового обладнання для оплавлення і відпалу злитків і, тому, дозволяє зменшити енерговитрати.

Висновки. Запропоновано екологічно безпечний спосіб отримання скінтіляторів для радіоекологічного моніторингу. Методом Стокбаргера в герметичних кварцових ампулах вирощені кристали $CsI:Tl$ високої спектрометричної якості. Отримані кристали не прилипають до матеріалу ампули і не руйнуються при подальшій механічній обробці. Відсутність взаємодії між злитком і кварцом дозволяє виключити операцію поверхневого оплавлення, що покращує екологічну безпеку процесу, знижує енерговитрати і витрати на додаткове обладнання.

Спектри коливального поглинання отриманих кристалів $CsI:Tl$ не містять смуг поглинання в ІЧ-області спектра, обумовлених іонами OH^- й

CO_3^{2-} , а електронне поглинання у видимій області не має смуг поглинання центрів забарвлення F_- й F_A -типу.

Надійним критерієм придатності солі для отримання кристалів без домішок OH^- й CO_3^{2-} є відсутність піків високотемпературної десорбції води. Показано, що необхідною умовою підготовки солі є ретельна дегідратація при температурі не вище $40^\circ C$ за виключенням фотолізу.

Такий спосіб вирощування рекомендований для отримання кристалів $CsI:Tl$ з радіонуклідами для радіоекологічного моніторингу і геологорозвідки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lecoq, P. Inorganic Scintillators for Detector Systems [Text] / P. Lecoq, A. Gektin, M. Korzhik // Springer. – 2017. – 408 p.
2. Grupen, C. Particle Detectors [Text] / C. Grupen, B. A. Shwartz. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 651 p.
3. Lyubynskiy, V. R. Scintillation Assemblies Based on NaI:Tl Crystals with Reference Sources [Text] / V. R. Lyubynskiy et al. // Proc. Int. Conf. Inorganic Scintillators and Their Applications. – M.: Moscow State University, 2000. – P. 735–739.
4. Catalog of the Crimatec. Scintillation Detectors. – France: Saint-Gobain Ceramiques Industrielles, 1992. – 111 p.
5. А.с. 695396 СССР МПК G 01T 1/20. Аэрогамма-спектрометр / А. В. Долгополова, В. С. Данилов, В. М. Эккерман и др. – № 2637104; заявл. 06.07.1978.
6. Горилецкий, В. И. Рост кристаллов [Текст] / В. И. Горилецкий, Б. В. Гринев, Б. Г. Заславский, Н. Н. Смирнов. – Х.: Акта, 2002. – 535 с.
7. Shpilinskaya, L. N. The effect of oxygen-containing anions on luminescent properties of CsI [Text] / L. N. Shpilinskaya et al. // SPQEO. – 2000. – Vol. 3. – P. 178–180.
8. Zaslavsky, B. G. Distinctive features of automated pulling of large scintillation alkali iodides single crystals without oxygen-containing impurities [Text] / B. G. Zaslavsky // J. Crystal Growth. – 2000. – Vol. 218. – P. 277–281.
9. Kudin, A. M. CsI crystals for the mid-IR region [Text] / A. M. Kudin et al. // J. Opt. Technology. – 2007. – Vol. 74. – P. 633–635.
10. Cherginets, V. L. Luminescence properties of CsI crystals grown from the melt treated by metals-getters [Text] / V. L. Cherginets et al. // J. Crystal Growth. – 2013. – Vol. 380. – P. 143–147.
11. Sofronov, D. S. Origin of the Thermal Desorption Peaks of Gases in NaI above $180^\circ C$ [Text] / D. S. Sofronov et al // Inorganic Materials. – 2009. – Vol. 45. – P. 1314–1318.
12. Кудин, А. М. Спектрометрический стенд для измерения скінтіляционных характеристик детекторов на основе системы «скінтілятор – PIN фотодиод» [Текст] / А. М. Кудин, Ю. А. Борошенко, В. В. Белогуб, А. В. Диденко // Вісник ХНТУ. – Х.: ХНТУ, 2014. – № 15 (1058). – С. 87–91.
13. Sysoeva, E. Comparison of the Methods for Determination of Scintillation Light Yield [Text] / E. Sysoeva, V. Tarasov, O. Zelenskaya // NIMA. – 2002. – Vol. A486. – P. 67–73.
14. Шкоропатенко, А. В. Причины нестабильности спектрометрических характеристик кристаллов $CsI:Tl$ с матированной поверхностью [Текст] / А. В. Шкоропатенко // Физическая инженерия поверхности. – Х., 2015. – Т. 13. – С. 175–183.
15. Grinev, B. V. Photo- and radiation-chemical transformations of carbonate ions in CsI and CsI(Tl) crystals [Text] / B. V. Grinev // Optics and Spectroscopy. – Springer, 2000. – Vol. 89. – P. 57–62.
16. Grinyov, B. V. Radiation-induced defects formation in CsI crystals containing hydroxyl and carbonate ions [Text] / B. V. Grinyov // Functional Materials. – Kh.: STC «ISC», 1997. – Vol. 4. – P. 540–543.
17. Trefilova, L. Photo- and radiation-stimulated processes in CsI:Tl crystals [Text] / L. Trefilova // IEEE Transaction on Nuclear Science. – IEEE Nuclear and Plasma Society, 2008. – Vol. 55. – № 3. – P. 1263–1269.
18. Трефілова, Л. М. Роль домішкових іонів CO_3^{2-} у процесах утворення центрів світіння і центрів забарвлення в кристалах CsI : автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук: 01.04.10 / Трефілова Лариса Миколаївна; Наук.-техн. концерн «Інститут монокристалів» НАН України. – Х., 2000. – 18 с.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2017 р.

A. Kudin, V. Muntyan, T. Olynyk, K. Kudin

ECOLOGY SAFETY TECHNIQUE FOR GROWTH OF CsI:Tl CRYSTALS WITH INTERNAL RADIOISOTOPES FOR RADIOECOLOGICAL MONITORING

The ecological safety technique the obtaining of scintillator for radioecology monitoring has been proposed. *CsI:Tl* crystals have been grown by directed crystallization in quartz ampoules. Grown ingots do not interact with material of container. Crystals are not cracked during cooling and subsequent machining. The technique of crystal growth excludes the surface melting of ingot that improves the ecological safety and reduces energy costs. OH^- and CO_3^{2-} ions do not present in grown crystals according to IR spectra of vibration absorption in which the bands of noted impurities are absent. Electron absorption in visible range does not show the presence of F_- and F_A -centers after irradiation. Spectrometric characteristics of manufactured scintillators are not inferior to standard. The developed technique is recommended to crystal growth of *CsI:Tl* with internal radioisotopes for ecological monitoring. The peculiarity of this technique is the dehydration of raw material at $T \leq 40^\circ C$ in conditions which exclude the photolysis of salt.

Keywords: ecological safety, radioecology monitoring, crystal growth, surface melting, scintillation characteristics.

А. М. Кудин, В. К. Мунтян, Т. Н. Олейник, К. А. Кудин

РАЗРАБОТКА БЕЗОПАСНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ CsI:Tl С РАДИОНУКЛИДАМИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Предложен безопасный способ получения сцинтилляторов для радиоэкологического мониторинга. Методом направленной кристаллизации в кварцевых ампулах выращены кристаллы *CsI:Tl*, которые не прилипают к материалу контейнера и не разрушаются при охлаждении. Способ исключает операцию поверхностного оплавления слитка, что улучшает экологическую безопасность и снижает энергозатраты. Спектры колебательного поглощения выращенных кристаллов не содержат полос, обусловленных ионами OH^- и CO_3^{2-} , а электронное поглощение после облучения не имеет полос, обусловленных центрами окраски F_- и F_A -типа. Спектрометрические характеристики выращенных кристаллов не уступают эталону. Метод рекомендован для выращивания сцинтилляторов с изотопами, введенными в кристаллическую решетку, и отличается дегидратацией сырья при $T \leq 40^\circ C$ в условиях, исключающих фотолиза соли.

Ключевые слова: экологическая безопасность, радиоэкологический мониторинг, рост кристаллов, поверхностное оплавление, сцинтилляционные характеристики.

УДК 504.062+620.194:620.197

С. Д. Цибуля, д. т. н., доц., директор навч.-наук. ін-ту технологій
Чернігівський національний технологічний університет (ЧНТУ)
вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, Україна, 14035

В. Г. Старчак, д. т. н., проф., проф. каф.

А. В. Нешта, магістрант

Національний університет «Чернігівський колегіум ім. Т. Г. Шевченка» (ЧНПУ)
вул. Гетьмана Полуботка, 53, м. Чернігів, Україна, 14013

К. М. Іваненко, к. т. н., доц. каф.

Н. П. Буяльська, к. т. н., доц. каф.

І. А. Костенко, к. т. н., доц. каф.

Чернігівський національний технологічний університет (ЧНТУ)
вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, Україна, 14035

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

Наведені результати удосконалення екологічного моніторингу щодо оцінки екологічної ситуації інтегральними показниками рівня техногенного забруднення важкими металами річкової води та його впливу на корозійну стійкість та витривалість сталі 09ХГ2НАБЧ, легованої добавками Cu, Sb. Встановлено, що оптимальним є легування сталі 1 % мас. Cu, 0,3 % мас. Sb. Легування сталі 0,5 % мас. Cu, 0,5 % мас. Sb є шкідливим, в 1,6...1,8 раз зростають втрати металу, зокрема збільшується концентрація нікелю у воді, за рахунок підсилення корозійних процесів, а також знижується малоциклова витривалість, і, як наслідок, погіршується екологічна ситуація та підвищується ризик техногенних аварій. Оптимальні легуючі добавки, разом з розробленою синергічною захисною композицією, суттєво зменшують техногенний вплив та підвищують рівень техногенно-екологічної безпеки експлуатації металоконструкцій в забрудненій річковій воді, з мінімізацією техногенного забруднення. Підвищення рівня техногенної безпеки досягається двома методами: хімічним – модифікація металевої поверхні, за рахунок утворення стійких наномасштабних металохелатних плівок та фізико-хімічним – адсорбцією, катіонним обміном важких металів на полярному адсорбенті, що входить до складу синергічної захисної композиції.

Ключові слова: техногенний вплив, корозійна стійкість, витривалість низьколегованої сталі з добавками Cu, Sb, захисні композиції.

Постановка проблеми. Інноваційні технології легування конструкційних сталей, впровадження ефективних захисних композицій сприяють запобіганню техногенних аварій в техноприродних системах (ТПС) з великими екологічними збитками. Це питання особливо загострюється внаслідок негативного техногенного впливу важких металів (ВМ) на екологічну безпеку металоконструкцій, в т.ч. в поверхневих водах. Однак, попри широкого розповсюдження підводних технічних споруд проблема підвищення рівня їх техногенно-екологічної безпеки, в умовах техногенного впливу, залишається обмежено дослідженою. Це потребує удосконалення, як екологічного моніторингу, так і захисту ТПС з технічними спорудами [1–4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ряд авторів звертають особливу увагу на оцінку ефективності інноваційних технологій не тільки за економічними, але й насамперед за екологічними критеріями й показниками [2, 5–8]. Однак, екологічний моніторинг екодеструктивного техногенного впливу ВМ на довкілля переважно висвітлюється щодо літосфери, гідросфери, атмосфери, педосфери, фітосфери, зоосфери, демосфери, й дуже обмежено щодо техносфери – впливу на технічні споруди [2, 5–7, 9–17]. Отже, набуває важливого значення удосконалення методів екологічного моніторингу та

захисту металоконструкцій в умовах техногенного впливу ВМ [18–20]. Одним з перспективних методів удосконалення одержання високоміцних низьколегованих сталей, стійких до агресивних середовищ, є легування міддю, сурмою, в досить широких границях концентрацій (Cu – 0,2...4,0, Sb – до 0,6 мас. %). Важливо встановити оптимальні легуючі добавки щодо їх впливу на тривкість, витривалість сталі в агресивних середовищах, в т.ч. забруднених поверхневих водах [21–23].

Постановка задачі та її рішення. Мета та основна задача цієї роботи – підвищення рівня екологічної безпеки металоконструкцій з низьколегованої сталі, в забруднених ВМ поверхневих водах – удосконаленням її легування оптимальними добавками Cu, Sb й захисту середовища синергічними композиціями з мінімізацією техногенного впливу.

Дослідження проведені на сталі 09ХГ2НАБЧ (таблиця 1), в поверхневих водах річки Білоус м. Чернігова (таблиця 2). Її забрудненість характеризували інтегральним показником – індексом забруднення води (ІЗВ) [24]

$$ІЗВ = \left(\sum_{i=1}^{n \geq 6} \frac{C_i}{ГДК_i} \right) / n. \quad (1)$$

Корозійну стійкість визначали за K_n (мм/рік), малоцикловою втому (основну причину техногенних аварій) – за числом циклів N до руйнування зразків ($57 \times 12 \times 2,5$ мм) на машині ПП-2 [13, 17–20, 25]. Коефіцієнтом технологічної ефективності γ_m характеризували доцільність удосконалення застосованих методів захисту [26].

Результати експериментів з вдосконалення універсального технологічного метода підвищення екобезпеки металоконструкцій синергічними захисними композиціями (СЗК) на вторинній сировині, з утилізацією регіональних відходів, наведено в таблицях 3–6 й на рисунках 1, 2.

Таблиця 1 – Характеристика сталі 09ХГ2НАБЧ, з Cu, Sb

Хімічний склад, мас. %	Сталь				
	1	2	3	4	5
C	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Si	0,37	0,36	0,37	0,38	0,36
Mn	1,45	1,45	1,43	1,46	1,45
Cr	0,48	0,48	0,48	0,47	0,46
Ni	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Nb	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05
Al	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
Cu	–	0,5	1,0	–	–
Sb	–	–	–	0,3	0,5
P, $\times 10^2$	2,0	2,5	1,8	2,0	2,0
S, $\times 10^2$	2,0	2,5	2,1	2,1	2,6
Гази, $\times 10^4$					
O	60	58	59	60	60
N	300	290	300	290	300
H	2,5	2,6	2,3	2,3	2,8
Фізико-механічні властивості					
Сталь	σ_B	σ_T	δ	ψ	Термо-обробка
	МПа		%		
1	420	310	34	55	Нормалізація, 1192 К
2	410	320	35	56	
3	486	340	33	51	
4	470	330	32	49	
5	375	300	36	57	
Сталь: 1 – без добавок Cu, Sb; 2, 3 – з добавкою Cu (0,5; 1); 3, 4 – з добавкою Sb (0,3; 0,5), мас. %.					

Таблиця 2 – Забрудненість води*

Показники	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	NH ₄ ⁺
C_i , мг/дм ³	0,0099	0,0188	0,0175	0,6840
$ГДК_{p.g.}$, мг/дм ³	0,01	0,01	0,01	0,05
$C_i/ГДК_i$	0,99	1,88	1,75	13,68
$\sum C_i/ГДК_i$	34,8			
ІЗВ	5,8; 5 клас, «брудна вода»			

*Примітка:

- В розрахунок ІЗВ, як обов'язкові, введено БПК₅, O_{2(розч.)}; $C_i/ГДК_i = 15,22; 1,28$.
- pH = 5,5...6.

Таблиця 3 – Коефіцієнти технологічної ефективності γ_m зниження забрудненості води з СЗК

Показники	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	NH ₄ ⁺
C_i , мг/дм ³	0,0017	0,0018	0,0027	0,1485
$C_i/ГДК_i$	0,17	0,18	0,27	2,97
$\sum C_i/ГДК_i$	8,4			
ІЗВ	1,4; 3 клас, «помірно забруднена»			
γ_m	5,8	9,9	6,5	4,6
γ_m за ІЗВ – 4,1				

В «брудній воді» р. Білоус (ІЗВ = 5,8) – таблиця 2, сталь 09ХГ2НАБЧ, без добавок Cu, Sb є понижено стійкою (бал 7). Легування сталі 1,0 Cu; 0,3 Sb, мас. % знижує втрату металу (бал 6), $\gamma_m = 2,04; 2,55$. Легування Cu, Sb по 0,5 мас. % є шкідливим: втрати металу зростають в 1,6; 1,8 раз. Легування неефективне – $\gamma_m < 1$ (таблиця 4).

Таблиця 4 – Коефіцієнти технологічної ефективності γ_m за K_n (мм/рік)

Сталь	без СЗК			з СЗК		
	K_n	Бал, тривкість	γ_m	K_n	Бал, тривкість	γ_m
1	0,51	7,	–	0,17	6	3,0
2	0,93	понижено тривкі	0,55	0,095	5, тривкі	9,8
3	0,20	6, –/–	2,55	0,015	4, –/–	13,3
4	0,25		2,04	0,022		11,4
5	0,82	7, –/–	0,66	0,310	6	2,6

СЗК (5 г/дм³) зменшує забрудненість води до ІЗВ = 1,4 (див. таблицю 2, 3). γ_m по зниженню токсичних ВМ (Ni²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺) складає: $\gamma_m = 5,8...9,9$, а за ІЗВ – $\gamma_m = 4,1$.

Оптимальні добавки Cu 1,0; Sb 0,3 мас. % забезпечують з СЗК максимальну технологічну ефективність γ_m збільшується в 5,2...5,6 раз). Сталь вже відноситься до групи тривкої, бал зменшується на 2 одиниці (з 6 до 4). Найменшу ефективність захисту показала сталь з 0,5 % Sb, ($\gamma_m = 2,6$, що нижче ніж сталь без добавок).

Понижена стійкість сталі 09ХГ2НАБЧ в «брудній воді» р. Білоус сприяє накопиченню в ній ВМ. В таблиці 5 показано збільшення у воді концентрації найбільш небезпечного токсиканта (супертоксиканта XXI ст.) – Ni²⁺ [27] внаслідок корозії сталі та її зменшення із СЗК.

Таблиця 5 – C_{Ni2+} (мг/дм³) у воді р. Білоус внаслідок корозії сталі (1–3)

Сталь	без СЗК		з СЗК	
	C _{Ni2+}	γ_m	C _{Ni2+}	γ_m
1	0,121	–	0,0387	–
2	0,210	0,58	0,0217	1,77
3	0,053	2,28	0,0049	7,90

Якщо корозія сталі 09ХГ2НАБЧ без добавок збільшує $C_{Ni^{2+}}$ у воді в 12,2 раз (див. таблиці 2, 5), то добавка Cu 0,5 мас. % підвищує її в 21,2 ($\gamma_m < 1$). Оптимальна добавка Cu 1,0 мас. % обумовлює $\gamma_m = 2,28$, в порівнянні зі сталлю без добавок. СЗК забезпечує зниження $C_{Ni^{2+}}$ у воді внаслідок корозії ($\gamma_m = 1,77...7,90$) в 2,1...10,8 раз, але рівня $C_{Ni^{2+}}$ у воді р. Білоус, з СЗК, без корозії сталі не досягається.

СЗК знижує також ризик техногенних аварій, збільшуючи витривалість до малоциклової втоми (таблиця 6).

Таблиця 6 – Коефіцієнт технологічної ефективності γ_m з малоциклової витривалості сталі

Сталь	1	2	3	4	5
γ_m	2,5	2,9	3,8	3,5	2,1

Знову ж добавка Sb 0,5 мас. % менш ефективна ніж сталі без добавок (1): $\gamma_m = 2,1$ проти 2,5. Максимальну ефективність показала сталь 09ХГ2НАБЧ (3) з добавкою Cu 1,0 мас. %.

Пояснення одержаних результатів можна зробити на основі фазового рентгеноструктурного аналізу, Оже-спектроскопії, фізико-хімічних методів аналізу (фотометрія), електронної мікроскопії [21, 22].

Мідь в сталі з добавкою 0,5 мас. %, в основному, представлена нестійкими сульфідами $CuS_{0,56}$, Cu_5FeS_4 (ловушками водню), які легко руйнуються, з виділенням Cu (катодного протектора), на поверхні руйнування, що збільшує втрати сталі. Тому ця легуюча добавка була неефективною. Крім того, вона обумовлювала значне накопичення Cu^{2+} у річковій воді (в 6 разів більше проти добавки Cu 1,0 мас. %). В сталі з добавкою Cu 1,0 мас. %, мідь в основному знаходиться в стійких сульфідах CuS й дещо в твердому розчині. Константа рівноваги розчинення їх навіть в більш агресивному середовищі (рН 0) складає $K = 5,3 \cdot 10^{-16}$. Це вказує на термодинамічну неможливість їх розчинення та накопичення Cu^{2+} в середовищі за їх рахунок.

Поверхня руйнування сталі з добавкою 0,5 Sb мас. % збагачена сульфідами Ni, Sb, ϵ -карбіду, що обумовлює високу корозійну активність цієї сталі та зменшення стійкості до водню (рисунок 1).

Неефективність добавки Sb 0,5, мас. % ($\gamma_m < 1$) пов'язана в даному випадку з утворенням активного стимулятора наводнювання SbH_3 . Ця сталь руйнується за механізмом водневої крихкості (як і з добавкою Cu 0,5, мас. %). Про це свідчить растрове зображення поверхні її руйнування (рисунок 2).

Поверхня вкрита численними водневими пухирцями, здуттями, є глибокі раковини.

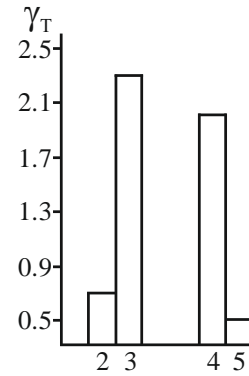


Рисунок 1 – Коефіцієнт технологічної ефективності γ_m легування при наводнюванні сталі 09ХГ2НАБЧ в річковій воді при катодній поляризації ($i_K = 0,1 \text{ A/cm}^2$): 2 – Cu, 0,5; 3 – Cu, 1,0; 4 – Sb, 0,3; 5 – Sb, 0,5 мас. %

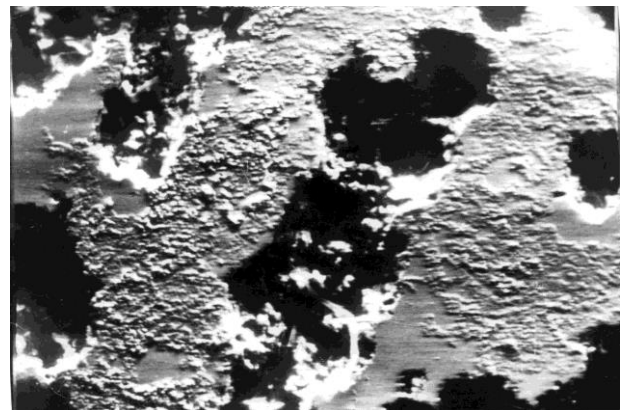


Рисунок 2 – Растрове зображення поверхні руйнування сталі 09ХГ2НАБЧ з 0,5 Sb, мас. % (РЭМ-200, $\times 100$)

СЗК забезпечує високу технологічну ефективність легуваної сталі за втратою металу при корозії – $\gamma_m = 11,4; 13,3$ (для добавок 0,3 Sb й 1,0 Cu, мас. %). Мінімальний γ_m знову у сталі з добавкою 0,5 Sb, мас. % (він нижче ніж у сталі без добавки). Забезпечується з СЗК й надійна експлуатація металоконструкцій із запобіганням малоциклової втоми – основної причини техногенних аварій. Максимальні γ_m – 3,5; 3,8 з добавкою Sb 0,3, Cu 1,0, мас. %. Мінімальний γ_m – з добавкою Sb 0,5, мас. % (2,1, що нижче ніж у сталі без добавки – $\gamma_m = 2,5$). Звертає увагу досить висока технологічна ефективність з СЗК для сталі з добавкою Cu 0,5, мас. %.

СЗК – активний синергічний стимулятор металохелатування, завдяки наявності поліамідних груп в складі діючих компонентів відходів й вибраних (комп'ютерним моделюванням) поліденатних синергістів (похідних імідазолу, тіазолу). Важкі метали, особливо Cu, Ni утворюють нерозчинні металохелатні комплекси, з високою константою стійкості ($K_{st} = 10^{15}...10^{20}$), що значно знижує токсичність середовища й зменшує забрудненість води. Отже, γ_m навіть для сталі з

добавкою Cu 0,5 мас. %, перевищує γ_m сталі без добавки по запобіганню корозії: $\gamma_m = 9,8$ проти 3,0 (таблиця 4) та малоциклової втоми ($\gamma_m = 2,9$ проти 2,5). Активний полярний адсорбент в складі СЗК (цеоліт) сприяє адсорбції металохелатів та зменшенню ВМ у воді (γ_m , за ІЗВ, складає 4,1). Таким чином, здійснюється удосконалення захисту поверхневих вод від ВМ двома методами – хімічним (металохелатування) та фізико-хімічним (адсорбція, катіонний обмін на полярному адсорбенті).

Технологічна ефективність СЗК щодо запобігання корозії сталі, підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації металоконструкцій зумовлена утворенням стійких (міцних, еластичних) наномасштабних (30...50 нм) захисних металохелатних плівок на поверхні сталі [28, 29]. Модифікація металевої

поверхні металохелатуванням забезпечує надійну екобезпеку експлуатації металоконструкцій із сталі 09ХГ2НАБЧ в забрудненій річковій воді.

Висновки. Удосконалення методів екологічного моніторингу шляхом введення оцінки техногенного впливу на екобезпеку металоконструкцій в агресивних середовищах дає можливість своєчасно запропонувати природоохоронні заходи і встановити їх ефективність.

Удосконалення методів забезпечення техногенно-екологічної безпеки металоконструкцій шляхом вибору оптимальних легуючих добавок Cu, Sb в низьколеговану сталь 09ХГ2НАБЧ та раціонального складу синергічних захисних композицій забезпечує суттєве підвищення корозійної стійкості, малоциклової витривалості та мінімізацію техногенного забруднення середовища важкими металами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шмандій, В. М. Екологічна безпека [Текст] / В. М. Шмандій, В. Ю. Некос. – Х.: ХНУ ім. В. Каразіна, 2008. – 436 с.
2. Мельник, Л. Г. Екологічна економіка [Текст] / Л. Г. Мельник. – Суми: Університетська книга, 2002. – 346 с.
3. Ваганов, П. А. Человек-Риск-Безопасность [Текст] / П. А. Ваганов. – СПб: СПб-университет, 2002. – 160 с.
4. Бондарь, О. І. Екологічна безпека та охорона навколишнього середовища [Текст] / О. І. Бондарь, Г. І. Рудько. – К.: ЕКМО, 2004. – 423 с.
5. Рудько, Г. І. Екологічна безпека техноприродних геосистем (наукові і методологічні основи) [Текст] / Г. І. Рудько, С. В. Гошовський. – К.: Нічлава, 2006. – 464 с.
6. Рудько, Г. І. Конструктивна геоecологія: наукові основи та практичне втілення [Текст] / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко. – К.: Маклаут, 2008. – 320 с.
7. Шевчук, В. Я. Екологічне управління [Текст] / В. Я. Шевчук, Ю. М. Саталкін, Г. О. Білявський. – К.: Либідь, 2004. – 432 с.
8. Афанасьев, С. А. Методика оценки экологических рисков, возникающих при воздействии источников загрязнения на водные объекты [Текст] / С. А. Афанасьев, М. Д. Гродзинский. – К.: Ай-Би, 2004. – 59 с.
9. Білявський, Г. О. Основи екології [Текст] / Г. О. Білявський, Р. С. Фурдуй, І. Ю. Костіков. – К.: Либідь, 2004. – 408 с.
10. Сафранов, Т. А. Загальна екологія та неоекологія [Текст] / Т. А. Сафранов. – К.: КНТ, 2005. – 188 с.
11. Сидоренко, С. Н. Коррозия металлов и вопросы экологической безопасности магистральных трубопроводов [Текст] / С. Н. Сидоренко, Н. А. Черных. – М.: РУДН, 2002. – 83 с.
12. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии [Текст] / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – М.: Физ.-мат. лит., 2002. – 336 с.
13. Вплив екологічної ситуації на протикорозійний захист металоконструкцій [Текст] / В. Г. Старчак, С. Д. Цибуля, Н. П. Буяльська й ін. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Л.: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка, 2012. – Спецвип. № 9. – Т. 2. – С. 767–772.
14. Адаменко, Я. О. Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище: науково-теоретичні основи, практична реалізація: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Я. О. Адаменко. – Ів.-Франківськ, 2006. – 39 с.
15. Lesink, G. Aspects of structural degradation in steels of old bridges by means of fatigue crack propagation [Text] / G. Lesink, M. Szata // Journal of Materials Science. – 2011. – Vol. 47. – № 1. – P. 82–88.
16. Taylor, Christopher D. Atomistic Modeling of Corrosion Events at the Interface between a Metal and Its Environment [Text] / Christopher D. Taylor // International Journal of Corrosion. – 2012. – Vol. 2012. – 13 p. – ID 204640.
17. Цибуля, С. Д. Комплексне забезпечення екологічної безпеки трубопровідного транспорту [Текст] / С. Д. Цибуля // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Л.: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка, 2012. – Спецвип. № 9. – Т. 2. – С. 773–779.
18. Старчак, В. Г. Наукові основи підвищення екологічної безпеки металоконструкцій модифікацією їх поверхні у протикорозійному захисті [Текст] / В. Г. Старчак, Н. П. Буяльська, С. Д. Цибуля // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Л.: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка, 2012. – Спецвип. № 4. – Т. 2. – С. 853–859.
19. Цибуля, С. Д. Запобігання техногенних аварій підвищенням корозійної тривкості металоконструкцій [Текст] / С. Д. Цибуля // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2004. – № 4. – С. 35–41.

20. Цибуля, С. Д. Вплив техногенного забруднення поверхневих вод на тривкість металоконструкцій [Текст] / С. Д. Цибуля // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Л.: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка, 2010. – Спецвип. № 8. – Т. 2. – С. 822–825.
21. Грузнова, С. В. Комплексное аналитико-электрохимическое исследование коррозии трубных сталей с катодными добавками : дис. ... канд. хим. наук 02.00.02; Грузнова С. В. – М., 1987. – 156 с.
22. Старчак, В. Г. Коррозионно-электрохимическое поведение стали с добавками меди [Текст] / В. Г. Старчак, С. В. Грузнова, Ю. А. Клячко // Металлургия и коксохимия. – К.: Техника, 1986. – С. 74–76.
23. Starchak, V. G. The ecology safety, life increasing of the construction materials by a nanoscale metallochelating [Text] / V. G. Starchak, S. V. Gruznova, S. D. Tcibula // Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials. ICHMS'2007. X International Conference Sudak – Crimea–Ukraine, September 22–28, 2007. – P. 1042–1045.
24. Хільчевський, В. К. Водопостачання і водовідведення. Гідроекологічні аспекти [Текст] / В. К. Хільчевський. – К.: Київ. ун-т, 1999. – 320 с.
25. Походня, І. К. Сучасне матеріалознавство ХХІ ст. [Текст] / І. К. Походня. – К.: Наук. думка, 1998. – 658 с.
26. Ocludell, G. I. The effect of cation on the corrosion of carbon and stainless steels in differing chloride environments [Text] / G. I. Ocludell // Corrosion (USA). – 1989. – Vol. 45. – № 12. – P. 981–984.
27. Давыдова, С. Л. Тяжелые металлы как супертоксиканты ХХІ века [Текст] / С. Л. Давыдова, В. И. Тагасов. – М.: РУДН, 2002. – 140 с.
28. Цибуля, С. Д. Синергические металлохелатирующие композиции для защиты трубной стали 09ХГ2НАБЧ [Текст] / С. Д. Цибуля // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях. – К.: УИЦ НТТ, 2006. – С. 203–206.
29. Старчак, В. Г. Роль гетероатомов в образовании металлохелатных наноструктур при поверхностной модификации материалов [Текст] / В. Г. Старчак, С. А. Алексеенко, Н. П. Буяльская // Наноструктурное материаловедение. – 2008. – № 2–4. – С. 70–84.

Стаття надійшла до редакції 24.11.2017 р.

S. Tsybulia, V. Starchak, A. Neschta, K. Ivanenko, N. Buyalska, I. Kostenko

IMPROVEMENT OF THE ECOLOGICAL MONITORING METHODS AND ENSURING OF THE TECHNOGENOUS-ECOLOGICAL SAFETY OF METAL CONSTRUCTIONS

The results of the ecological monitoring improvement on the ecological situation estimate by integral coefficients of the technogenous contamination level by heavy metals of river water and its influence on the corrosion resistance and fatigue strength of steel 09KhG2NABCh, alloyed by the additions Cu, Sb have been adduced in this work. It is placed the optimum additions, which with joint developed synergetic protection composition considerably decrease the technogenous influence and increase the level of the technogenous safety metaloconstructions with minimization of the technogenous contamination.

Keywords: technogenous influence, corrosion resistance, low-cycle fatigue strength, low-alloy steel with additions Cu, Sb, protection compositions.

С. Д. Цибуля, В. Г. Старчак, А. В. Нешта, К. Н. Иваненко, Н. П. Буяльская, И. А. Костенко

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Приведенные результаты усовершенствования экологического мониторинга по оценке экологической ситуации интегральными показателями уровня техногенного загрязнения тяжелыми металлами речной воды и его влияния на коррозионную стойкость и выносливость стали 09ХГ2НАБЧ, легированной добавками Cu, Sb. Выявлены оптимальные добавки, которые вместе с разработанной синергичной защитной композицией существенно уменьшают техногенное влияние и повышают уровень техногенной безопасности металлоконструкций, с минимизацией техногенного загрязнения.

Ключевые слова: техногенное влияние, коррозионная стойкость, выносливость низколегированной стали с добавками Cu, Sb, защитные композиции.

УДК 519.876.5::628.472

В. Ю. Колосков, к. т. н., доц., доц. каф.
Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧУЩИХ ПОКАЗНИКІВ КРИТЕРІЮ ЕКОЛОГІЧНОГО РЕЗЕРВУ ТЕРИТОРІЙ, ПРИЛЕГЛИХ ДО МІСЦЬ ЗБЕРІГАННЯ ВІДХОДІВ

Вдосконалено інтегральний критерій оцінювання екологічного стану території за показником рівня її екологічного резерву. Новизна отриманого результату полягає у використанні в якості значущих показників для оцінювання відгуків навколишнього природного середовища на дію факторів негативного впливу за критерієм екологічного резерву величин, які характеризують деградаційні процеси в екосистемах. Запропоновано обрати для визначення ефекту прямої дії у короткотерміновій перспективі величину площі деградаційних процесів в екосистемі разом з продуктивністю видів-індикаторів першого трофічного рівня. Для прогнозування динаміки деградації на середній та довгий термін запропоновано визначати швидкість зміни площі деградації та чисельність популяції видів-індикаторів четвертого трофічного рівня. Використання вдосконаленого критерію екологічного резерву дозволяє вдосконалити метод оцінювання екологічного стану територій, прилеглих до місць зберігання відходів, та прогнозування рівня безпеки подібних об'єктів за показниками якості довкілля та параметрами об'єкту, які визначають фактори ризику виникнення надзвичайної ситуації.

Ключові слова: екологічний стан, інтегральний критерій, екологічний резерв, ступінь деградації, відходи.

Постановка проблеми. У лютому 2015 року до Закону України від 19.06.2003 р. № 964-IV «Про основи національної безпеки України» було внесено ряд суттєвих доповнень стосовно визначення загроз та напрямів державної політики у сфері цивільного захисту. Зокрема, до переліку загроз національним інтересам та національній безпеці держави у сфері цивільного захисту включено значне антропогенне і техногенне перевантаження території України, а також зростання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного та природного характеру. Як результат, серед напрямів державної політики України у сфері цивільного захисту наразі водночас представлено наступне:

– життя організаційних, економічних, інженерно-технічних та інших заходів для зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій до прийнятних рівнів;

– підвищення рівнів екологічної, ядерної та радіаційної безпеки до норм і стандартів у відповідних сферах.

Таким чином, можна стверджувати, що у сучасних умовах сформовано правові засади переходу до комплексного вирішення питань забезпечення екологічної безпеки та зменшення ризиків виникнення НС на об'єктах, які є джерелом негативного впливу на навколишнє природне середовище, зокрема, місцях зберігання відходів.

Законом України від 18.01.2003 р. № 2245-III «Про об'єкти підвищеної небезпеки» об'єкт підвищеної небезпеки визначено як такий, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин або категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, або будь-якого іншого, що є реальною загрозою виникнення надзвичайної

ситуації техногенного та природного характеру. Як можна бачити, під наведене визначення підпадають, зокрема, місця зберігання усіх видів відходів, як санкціоновані, так і несанкціоновані. Вказані об'єкти водночас включені й до «Переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 28.08.2013 р. № 808, при цьому об'єктами підвищеної екологічної небезпеки вважаються об'єкти захоронення не лише небезпечних, а й побутових відходів.

Стосовно місць зберігання відходів в Україні та світі відомі чисельні приклади катастроф – зсувів, пожеж, підтоплень, тощо. В Україні, як і у більшості країн пострадянського простору, окремого врахування пожеж, що відбуваються у місцях зберігання відходів, накопичення сміття, тощо, до останнього часу не проводилося. Підтвердженням цьому є результати вивчення матеріалів зі зведених статистичних показників стосовно об'єктів виникнення пожеж, накопичених вітчизняними та закордонними дослідниками. Зокрема, у матеріалах аналізу масиву карток обліку пожеж, розміщених на офіційному веб-сайті Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (УкрНДЦЗ) [1], об'єкти пожеж поділяють на такі групи:

- споруди виробничого призначення;
- торговельно-складські споруди;
- соціально-культурні, громадські та адміністративні споруди;
- тваринницькі будівлі;
- інші сільськогосподарські об'єкти;
- споруди житлового сектора, включаючи житлові будинки;
- інші об'єкти.

Як можна побачити, у вітчизняній практиці класифікації пожеж переважає підхід, орієнтований на першочергове урахування пожеж у будівлях та

спорудах різного призначення. Безумовно, істотним підґрунтям для цього є той факт, що більшість людей гине та отримує травми під час саме таких подій. Втім, у читача, не обізнаного зі специфікою обліку пожеж, може скластися враження, що пожежі у місцях зберігання відходів не є достатньо поширеними в Україні, адже вже при першому погляді виникає природне бажання віднести місця розташування сміття до категорії інших об'єктів. Статистичні показники розподілу об'єктів виникнення пожеж у період з 2012 по 2016 рік за даними УкрНДЦЗ [1], представлені у

таблиці 1, демонструють невинне зростання доли об'єктів цієї категорії разом зі збільшенням загальної кількості пожеж в Україні. Втім, цей показник обчислено за всіма можливими видами інших об'єктів укупі, він дорівнює менш ніж 25 %, а отже пожежі у місцях зберігання та накопичення відходів мали б становити ще меншу кількість. У повідомленнях ж засобів масової інформації увагу, як правило, звертають на великі за масштабом події, про що, зокрема, свідчить перелік пожеж на сміттєзвалищах, який висвітлений в останні роки у вітчизняній пресі (таблиця 2).

Таблиця 1 – Розподіл об'єктів виникнення пожеж у період з 2012 по 2016 рік (за даними УкрНДЦЗ) [1]

Категорії об'єктів пожеж	Звітні роки				
	2012	2013	2014	2015	2016
Загальна кількість пожеж, у т.ч.:	71443	61114	68879	79581	74221
споруди виробничого призначення	466 (0,7 %)	449 (0,7 %)	518 (0,8 %)	462 (0,6 %)	507 (0,7 %)
торговельно-складські споруди	916 (1,3 %)	871 (1,4 %)	987 (1,4 %)	828 (1,0 %)	850 (1,1 %)
соціально-культурні, громадські та адміністративні споруди	491 (0,7 %)	404 (0,7 %)	703 (1,0 %)	522 (0,7 %)	466 (0,6 %)
тваринницькі будівлі	20 (0,03 %)	15 (0,05 %)	23 (0,03 %)	19 (0,02 %)	20 (0,03 %)
інші сільськогосподарські об'єкти	96 (0,07 %)	88 (0,15 %)	127 (0,17 %)	103 (0,08 %)	101 (0,17 %)
споруди житлового сектора	56258 (78,7 %)	47408 (77,6 %)	52049 (75,6 %)	59198 (74,4 %)	53591 (72,4 %)
інші об'єкти	13196 (18,5 %)	11879 (19,4 %)	14472 (21,0 %)	18449 (23,2 %)	18686 (25,0 %)

Таблиця 2 – Перелік пожеж у місцях зберігання відходів в Україні у період з 2012 по 2017 рік (за даними засобів масової інформації) [3]

Назва об'єкту та місце його розташування	Дата	Загальна площа спалахування, м ²
Полігон зберігання ТПВ, м. Одеса	26.06.2017 р.	5000
Полігон зберігання ТПВ, м. Пирятин, Полтавська обл.	06.06.2017 р.	500
Несанкціоноване сміттєзвалище, с. Рожни, Київська обл.	01.06.2017 р.	20000
Полігон зберігання ТПВ, м. Лубни, Полтавська обл.	30.05.2017 р.	18000
Полігон зберігання ТПВ, с. Макухівка, Полтавська обл.	28.05.2017 р.	1500
Полігон зберігання ТПВ, с. Нові Петровці, Київська обл.	17.05.2017 р.	17000
ТОВ «Сміттепереробний завод», Харківський район, Харківська обл.	04.05.2017 р.	700
Полігон зберігання ТПВ, м. Житомир	03.04.2017 р.	2000
Полігон зберігання ТПВ, м. Жовті Води, Дніпропетровська обл.	19.09.2016 р.	1300
Полігон зберігання ТПВ, с. Свидівок, Черкаська обл.	05.09.2016 р.	400
Законсервованій полігон зберігання ТПВ, с. Трипілля, Київська обл.	13.07.2016 р.	6000
Полігон зберігання ТПВ, с. Весняне, Миколаївська обл.	07.07.2016 р.	3000
Несанкціоноване сміттєзвалище, м. Миколаїв	21.06.2016 р.	2500
Полігон зберігання ТПВ, с. Великі Грибовичі, Львівська обл.	29.05.2016 р.,	2000
Полігон зберігання ТПВ, с. Броска, Одеська обл.	17.06.2016 р.	400
Полігон зберігання ТПВ, м. Жидачів, Львівська обл.	14.06.2016 р.	3500
Полігон зберігання ТПВ, м. Виноградів, Закарпатська обл.	14.08.2015 р.	25000
Несанкціоноване сміттєзвалище на території судноремонтного заводу, м. Миколаїв	12.08.2015 р.	500
Несанкціоноване сміттєзвалище, м. Київ	03.06.2015 р.	15000
Полігон зберігання ТПВ, м. Хмельницький	02.08.2014 р.	70000
Стихийне сміттєзвалище, м. Люботин, Харківська обл.	13.12.2013 р., 20.08.2014 р.	10000
Полігон зберігання ТПВ, м. Новомосковськ, Дніпропетровська обл.	17.06.2012 р.	40000

Альтернативним джерелом інформації стосовно загальної кількості та розподілу пожеж в Україні та світі є серія статистичних звітів [2], які готує щорічно Центр пожежної статистики Міжнародної асоціації пожежно-рятувальних служб (МАПРС). Як свідчать представлені на офіційному веб-сайті МАПРС дані, Україна до 2014 року не надавала окремо інформації стосовно пожеж, пов'язаних зі спалахуванням сміття. У звіті за 2015 рік дані стосовно цієї групи об'єктів в Україні знову зникають, однак, натомість, з'являється відповідна кількість пожеж, пов'язаних зі спалахуванням трави та кущів.

Втім, навіть наявна статистика за один 2014 рік демонструє разючу різницю з розглянутими раніше результатами. Як можна побачити, доля пожеж у місцях зберігання та накопичення сміття та відходів за даними, наданими Україною МАПРС, становить майже на 14 відсотків більше за величину, розраховану в матеріалах УкрНДЦЗ для усієї категорії інших об'єктів. Слід відзначити, що наведена у аналізованих джерелах загальна кількість пожеж для України дещо відрізняється – за даними Центра пожежної статистики МАПРС в Україні у 2014 році сталося 70902 пожежі, що становить на 2023 пожежі більше за відповідне значення, представлене в аналітичних матеріалах УкрНДЦЗ. Однак, навіть додавши цю різницю до повної кількості пожеж категорії «інші об'єкти», ми отримуємо значення на 8228 менше за надану МАПРС кількість.

Ще більш вражаюче виглядають дані стосовно розподілу об'єктів виникнення пожеж для м. Києва, адже кількість пожеж у місцях накопичення сміття виявляється навіть більшою за кількість пожеж у будівлях. Пояснити таке розходження у результатах можна лише за умови, що частину пожеж, пов'язаних зі спалахуванням сміття у місцях його накопичення та зберігання у національних статистичних звітах було віднесено до категорій пожеж у різних типах споруд та будівель. Для порівняння у таблицях 3 та 4 наведено статистичні дані МАПРС щодо пожеж у місцях зберігання відходів у країнах та великих містах світу.

Як можна бачити, більшість з врахованих випадків пожеж у місцях накопичення та зберігання відходів було зареєстровано у країнах Східної Європи, серед яких, на жаль, Україна є беззаперечним лідером. Загальносвітова статистика виглядає порівняно кращою, однак для багатьох країн випадки подібних пожеж взагалі не враховуються при формуванні відповідних звітних даних, що суттєвим чином впливає на отримані результати. Також за результатами аналізу можна визначити загальну тенденцію до збільшення долі пожеж зі спалахуванням сміття та відходів у великих містах у порівнянні з показниками відповідних країн.

Таблиця 3 – Пожежі у країнах світу у 2014 році (за даними Міжнародної асоціації пожежно-рятувальних служб) [2]

Назва країни	Загальна кількість пожеж	Кількість пожеж у місцях зберігання відходів
Сполучені Штати Америки	1298000	157500 (12,1 %)
Польща	145237	3100 (2,1 %)
Україна	70902	24723 (34,9 %)
Болгарія	23199	4868 (21,0 %)
Угорщина	19536	1014 (5,2 %)
Чехія	17391	2656 (15,3 %)
Сербія	16805	2717 (16,2 %)
Литва	13324	2920 (21,9 %)
Латвія	9821	2316 (23,6 %)
Хорватія	7307	1454 (19,9 %)
Естонія	6871	1819 (26,5 %)
Вірменія	6202	723 (11,7 %)
Ліхтенштейн	24	1 (4,2 %)
<i>Інші країни</i>	<i>479069</i>	–
Загалом	2113688	205811 (9,7 %)

Таблиця 4 – Пожежі у найбільших містах світу у 2014 році (за даними Міжнародної асоціації пожежно-рятувальних служб) [2]

Назва міста та країни	Загальна кількість пожеж	Кількість пожеж у місцях зберігання відходів
Париж, Франція	13809	3428 (24,8 %)
Київ, Україна	5126	2223 (43,4 %)
Варшава, Польща	4257	1210 (28,4 %)
Белград, Сербія	3333	689 (20,7 %)
Рига, Латвія	3033	842 (27,8 %)
Софія, Болгарія	2929	971 (33,2 %)
Будапешт, Угорщина	2421	87 (3,6 %)
Таллінн, Естонія	2207	697 (31,6 %)
Вільнюс, Литва	1771	711 (40,1 %)
Загреб, Хорватія	1154	321 (27,8 %)

Виникнення НС суттєво ускладнює завдання моніторингу та прогнозування рівня безпеки подібних об'єктів, особливо при одночасній реалізації декількох подій різного характеру. Натомість аналіз НС техногенного та природного характеру у межах санкціонованих і несанкціонованих місць зберігання відходів різних видів наявно демонструє присутність взаємозв'язків між джерелами екологічної небезпеки та факторами ризику НС. Наприклад, за рахунок накопичення великих обсягів води під час зливи або при гасінні пожежі різко збільшується ризик зсуву мас накопичених відходів, який надалі призводить до зростання негативних впливів на довкілля за рахунок розповсюдження сміття на непідготовлені для його безпечного зберігання майданчики. Вочевидь, питання моніторингу та прогнозування ризику виникнення НС та рівня екологічної небезпеки місць

зберігання відходів необхідно розглядати з урахуванням представлених взаємозв'язків, застосовуючи єдиний підхід до оцінювання та беручи до уваги поточні та прогнозовані характеристики екологічного стану територій, прилеглих до подібних об'єктів.

З урахуванням обмеженості ресурсів з ліквідації наслідків шкідливого впливу на навколишнє природне середовище актуальною проблемою є оцінювання екологічного стану територій, прилеглих до місць зберігання відходів, як об'єктів техногенної діяльності людства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз літературних джерел продемонстрував відсутність єдиного підходу до визначення типів екологічного станів територій за рівнем негативних змін в них. Зазвичай екологічні стани поділяють на п'ять типів, втім, практична реалізація цього розподілу у різних джерелах істотно відрізняється. У Водній Рамковій Директиві ЄС [4] встановлено такі типи (у порядку погіршення стану): відмінний; добрий; задовільний; поганий; дуже поганий. У вітчизняній практиці прийнято класифікацію, орієнтовану на визначення ступенів деградації екосистем [5]: умовно сприятливий (благополучний); задовільний; напружений (передкризовий); критичний або кризовий (екологічна НС); катастрофічний. У [6] розподіл цих станів конкретизовано таким чином: територія послідовно проходить спочатку критичний (4^I), а потім вже кризовий (4^{II}) стан, при чому останній зіставляється з настанням екологічної НС. Катастрофічний же стан відповідає настанню глибоких незворотних змін в екосистемі.

Основи концепції комплексного екологічного оцінювання природно-техногенних об'єктів, покладеної в основу представлених досліджень, викладено у роботах з питань екологічної безпеки [7–12].

В роботі [13] автором запропоновано вдосконалений метод оцінювання екологічного стану території, який базується на імітаційному моделюванні функціонування об'єкту зберігання відходів з покровоком оцінюванням рівня безпеки за критерієм екологічного резерву у наступному формалізованому вигляді:

$$\chi^p = \rho(\bar{F}): \chi^p \geq 0, \quad (1)$$

де \bar{F} – величина деякого фактору негативного впливу на навколишнє середовище; ρ – показник рівня екологічного резерву:

$$\rho = 1 - \bar{\varepsilon}, \quad (2)$$

де $\bar{\varepsilon}$ – зведене значення відгуку екосистеми на негативний зовнішній вплив. Такий підхід до визначення екологічного стану є відображенням нормативного за умови, що у якості граничного значення відгуку екосистеми прийнято таке, що

відповідає досягненню нею катастрофічного стану. Таким чином, для повноцінного використання даного критерію необхідно визначити значущі відгуки екосистеми на негативний вплив.

Розширений набір критеріальних показників має визначатися із застосуванням екологічного підходу, який полягає у дослідженні взаємозв'язків та взаємозалежностей екосистем з їх функціональним середовищем за допомогою екологічних індикаторів, екологічних показників та екологічних факторів [11]. У Керівництві з використання екологічних показників ЄЕК ООН [14] викладений загальний перелік таких індикаторів, використовуваних для підготовки екологічної звітності та прогнозування рівня екологічної безпеки. Показники з цього переліку, підкріплені рядами даних достатньої ємності та глибини за часом, дозволяють встановлювати джерела та наслідки негативних впливів на довкілля, однак вони спрямовані на встановлення зведених висновків стосовно екологічного стану території, а отже їхнє практичне застосування для динамічного оперативного управління екологічною безпекою є суттєво ускладненим.

Постановка завдання та його вирішення.

Метою представленої роботи є вдосконалення критерію екологічного резерву при оцінюванні екологічного стану територій, прилеглих до місць зберігання відходів. Для досягнення поставленої мети було поставлено та вирішено наступну задачу: визначити значущі показники екологічного стану території, прилеглої до місця зберігання відходів, придатні для його оцінювання за критерієм екологічного резерву.

Роздільне використання відокремлених підходів до контролю за негативним впливом на атмосферу, гідросферу та літосферу не дозволяє організувати комплексний захист довкілля, оскільки до уваги не береться наявність їхніх взаємозв'язків за рахунок переміщення забруднюючих речовин між різними елементами природного середовища. Такий підхід, зокрема, означає звужування завдання захисту довкілля до впровадження заходів зі зниження окремих показників за рахунок перерозподілу факторів негативного впливу на навколишнє середовище між його елементами без практичного зменшення рівня цього впливу в цілому.

Виходячи з вищесказаного, будемо розглядати оцінювання екологічного стану території у наступному визначенні: «процес порівняння сукупності екологічних станів об'єктів з певними нормами з урахуванням потенційно можливих впливів зовнішніх факторів, зокрема, факторів ризику НС». У такому сенсі індикатором негативного впливу буде ступінь деградації екосистеми, викликаний дією об'єкту на довкілля.

У практиці проведення оцінювання впливу техногенних об'єктів на довкілля ступінь деградації екосистем визначають за критеріями, які характеризують зміни, що відбуваються у їх

структурі та процесі функціонування [12]. При цьому необхідно враховувати водночас загальну величину площі деградаційних процесів та локальну диференційованість окремих ділянок території за ступенем деградації, а також швидкість деградації, яку зазвичай розраховують за достатньо тривалими періодами спостережень – від 5 до 10 років та довше.

Використовуючи підхід, викладений у роботі [15], можна обрати для критерію екологічного резерву у якості значущих показників величину площі деградаційних процесів S_{∂} та швидкість її зміни v_{∂} , які можна із достатньою точністю розрахувати на основі аналізу матеріалів дистанційного зондування Землі. Встановивши для цих показників граничні допустимі значення $[S_{\partial}]$ та $[v_{\partial}]$ відповідно, значення відгуків екосистеми визначимо за формулами

$$\varepsilon_S = S_{\partial}; \quad (3)$$

$$\varepsilon_v = v_{\partial}, \quad (4)$$

або у зведеному вигляді

$$\bar{\varepsilon}_S = \frac{S_{\partial}}{[S_{\partial}]}; \quad (5)$$

$$\bar{\varepsilon}_v = \frac{v_{\partial}}{[v_{\partial}]}. \quad (6)$$

Однак, відгуки (5)–(6) не дозволяють враховувати при оцінюванні локальну диференційованість окремих ділянок території, що потребує впровадження відповідних додаткових значущих показників. Для їх пошуку розглянемо структурно-функціональну організацію екосистеми, основним компонентом якої є біоценоз.

Вирішальну роль у визначенні меж екосистеми відіграє рослинність, яка першою відбиває зміну екологічного стану території внаслідок антропогенного впливу. Для індикації подібного впливу в екосистемі обирають види-індикатори та визначають, які зміни відбулися у структурі рослинного покриву, у видовому складі, віковому спектру та щільності популяцій, тощо [12]. При цьому можна обрати як «негативні», так і «позитивні» види-індикатори – перші у відповідь на негативний вплив знижують показники своєї життєдіяльності, другі ж, навпаки, – підвищують. У практиці оцінювання визначені граничні значення показників, наприклад, за щільністю популяції зниження, або підвищення на 20 % вважається пороговим, а зміна на 50 % – критичним значенням.

Зміни рослинного покриву відбуваються за рахунок механічних порушень, хімічних впливів. Об'єктивна оцінка цих змін проводиться у порівнянні з природним станом екосистеми, який визначає рівноважні значення її показників.

Рослинність виконує в екосистемі функцію накопичення енергії Сонця та відтворення запасів органічних речовин які надалі використовуються видами тваринного світу. Стан останнього визначають за критеріями різних рівнів – як зооценозу загалом, так популяцій окремих видів. При цьому можуть використовуватися як масово розподілені види, наприклад, птахи, так і відносно рідкісні. Види тварин за характером реакції на антропогенний вплив розподіляються, як і рослини, на стійкі та чутливі – перші збільшуватимуть свою чисельність за рахунок зменшення різноманіття та кількості других.

Популяції окремих видів формують угруповання досліджуваної території за рахунок утворення трофічної структури екосистеми. У складних природних угрупованнях організми, які отримують свою енергію від Сонця через однакову кількість ступенів, вважаються такими, що належать до одного трофічного рівня. Відповідно можна виділити чотири таких рівні [16]:

1) рівень продуцентів, який займають рослини;

2) рівень первинних консументів, який займають травоядні тварини;

3) рівень вторинних консументів, який займають первинні хижаки, що харчуються травоядними;

4) рівень третинних консументів, який займають вторинні (вищі) хижаки.

Ця класифікація стосується не видів, а функцій, оскільки один й той же вид може займати одразу декілька трофічних рівнів, наприклад, всеїдні тварини, які харчуються як рослинами (другий рівень), так і тваринами (третій та четвертий рівні). Для кожного трофічного рівня в екосистемі можна визначити величину потоку енергії скрізь нього.

Кожен трофічний рівень можна кількісно охарактеризувати рядом показників енергетичного обміну, а саме: величиною поглиненої енергії I , невикористаної енергії NU , асимільованої енергії A , продукції P , енергії, витраченої на дихання R , накопиченої (запасеної) енергії S , виділеної енергії E , обсягу зростання G , та нарешті кількістю біомаси B , від якої залежить кількісне вираження перерахованих енергетичних складових. Зв'язок між вказаними показниками можна встановити, використовуючи універсальну модель екологічного потоку енергії, запропоновану Ю. Одумом [16], та виразити його математично у наступному вигляді:

$$\varphi_I : B \rightarrow \{I \rightarrow A \rightarrow P\}; \quad (7)$$

$$\varphi_P : \begin{cases} A = I - NU, \\ P = A - R, \\ P = G + S + E. \end{cases} \quad (8)$$

Представлені величини необхідно брати у відношенні до деякого проміжку часу. В роботі [16] виділено чотири ступені продуктивності:

1) валова первинна продуктивність – швидкість фотосинтезу на першому трофічному рівні;

2) чиста первинна продуктивність – значення валової первинної продуктивності за винятком величини енергії, що була використана рослинами при диханні;

3) чиста продуктивність угруповання, яка дорівнює величині чистої первинної продуктивності за винятком енергії, спожитої гетеротрофами;

4) вторинна продуктивність – швидкість накопичення енергії на другому, третьому, або четвертому трофічному рівні.

При кожному переході за трофічним ланцюгом втрачається частина енергії. Втрати енергії на кожному рівні, є дуже високими, тому кількісне співвідношення між чисельністю популяцій рослин та вищих хижаків різко відрізняється. З одного боку, в екосистемі види першого трофічного рівня представлені дуже широко, вони підтримують трофічний ланцюг, постійно наповнюючи його органічною речовиною. З іншого ж – види, які представляють четвертий рівень, фактично регулюють усю екосистему за рахунок своєї невеликої чисельності, адже навіть невелике зменшення популяцій відповідних видів може поставити під загрозу виживання як безпосередньо цих видів, так і екосистеми у її теперішньому вигляді в цілому. Втім достатньо мала чисельність останніх стає перевагою за необхідності кількісного представлення обсягу біомаси, сконцентрованої на четвертому рівні, яке можна врешті решт звести до підрахунку кількості тварин у популяції.

Враховуючи різницю між наповненням та функціонуванням трофічних рівнів у екосистемі доцільною є диверсифікація значущих показників відгуку екосистеми наступним чином:

1) визначити види-індикатори першого трофічного рівня (рослини) та взяти як відгук відхилення їхньої продуктивності P^I від її рівноважного значення $[P^I]$ для аналізованої екосистеми

$$\varepsilon_P = \left| P^I - [P^I] \right|, \quad (9)$$

або у зведеному вигляді

$$\bar{\varepsilon}_P = \frac{\left| P^I - [P^I] \right|}{[P^I]}; \quad (10)$$

2) визначити види-індикатори четвертого трофічного рівня (вищих хижаків) та взяти у якості відгуку відхилення чисельності їхньої популяції N^{IV} від рівноважного значення $[N^{IV}]$ цієї кількості для аналізованої екосистеми

$$\varepsilon_N = \left| N^{IV} - [N^{IV}] \right|, \quad (11)$$

або у зведеному вигляді

$$\bar{\varepsilon}_N = \frac{\left| N^{IV} - [N^{IV}] \right|}{[N^{IV}]}. \quad (12)$$

Використовуючи значущі показники відгуку екосистеми (5)–(6), (11)–(12), за формулою (2) отримуємо комбінацію значень показника рівня екологічного резерву екосистеми

$$\rho : \begin{cases} \rho_S = 1 - \bar{\varepsilon}_S; \\ \rho_V = 1 - \bar{\varepsilon}_V; \\ \rho_P = 1 - \bar{\varepsilon}_P; \\ \rho_N = 1 - \bar{\varepsilon}_N, \end{cases} \quad (13)$$

та визначаємо нарешті удосконалений критерій екологічного резерву у формалізованому вигляді

$$\chi_\rho : \begin{cases} \rho_S(\bar{F}) \geq 0; \\ \rho_V(\bar{F}) \geq 0; \\ \rho_P(\bar{F}) \geq 0; \\ \rho_N(\bar{F}) \geq 0. \end{cases} \quad (14)$$

Використання комбінації з наведених значущих відгуків екосистеми на негативний вплив з боку місця зберігання відходів дозволить визначати за показниками ρ_S та ρ_P ефект прямої дії факторів у короткотерміновій перспективі та прогнозувати розвиток деградаційних процесів на середній та довгий термін за величинами показників ρ_V та ρ_N .

Висновки. Основним результатом представленої роботи є вдосконалення інтегрального критерію оцінювання екологічного стану території за величиною показника рівня її екологічного резерву шляхом визначення значущих відгуків екосистеми на негативний вплив місця зберігання відходів. Використання вдосконаленого критерію екологічного резерву дає, у свою чергу, можливість вдосконалити метод оцінювання екологічного стану територій, прилеглих до місць зберігання відходів, та прогнозування рівня безпеки подібних об'єктів, зробивши його придатним до використання для оперативного управління екологічною безпекою.

Для практичної реалізації інтегрального критерію та методу оцінювання на його основі необхідним є проведення системних досліджень, направлених на визначення гранично допустимих значень відгуків екосистем територій, прилеглих до місць зберігання відходів, за умови дії факторів негативного впливу різної природи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аналіз масиву карток обліку пожеж [Електронний ресурс] // Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. – Режим доступу: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html>. – Назва з екрану.
2. World Fire Statistics [Electronic resource] // International Association of Fire and Rescue Service. – Available: <http://www.ctif.org/ctif/world-fire-statistics>.
3. Korrespondent.net. Всі новини «свалка» на сайті Korrespondent.net [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://korrespondent.net/tag/3441/>. – Назва з екрану.
4. Водна рамкова директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення [Текст] / Європейський парламент та Рада Європейського Союзу. – К.: Консорціум компаній RODECO-VERSeau-WRc, 2006. – 240 с.
5. Зеркалов, Д. В. Екологічна безпека та охорона довкілля [Електронний ресурс]: моногр. / Д. В. Зеркалов. – К.: Основа, 2011. – 517 с. – Режим доступу: <http://zerkalov.kiev.ua/sites/default/files/ebod-mz.pdf>.
6. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия [Текст]. – М.: Минприроды РФ, 1992. – 51 с.
7. Пляцук, Л. Д. Синергетика: экосистемные процессы [Текст] / Л. Д. Пляцук, Е. Ю. Черныш, Д. Л. Пляцук // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 6/2014 (89). – Ч. 1. – С. 137–142.
8. Лисиченко, Г. В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління [Текст] / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль. – К.: Наук. думка, 2008. – 543 с.
9. Харламова, Е. В. Теоретические основы управления экологической безопасностью техногенно нагруженного региона [Текст] / Е. В. Харламова, М. С. Малеваный, Л. Д. Пляцук // Екологічна безпека. – Кременчук: КрНУ, 2012. – № 1 (13). – С. 9–12.
10. Екологічне управління [Текст] / В. Я. Шевчук, Ю. М. Сатанкін, Г. А. Білявський та ін. – К.: Лебідь, 2004. – 430 с.
11. Приходько, М. М. Теоретико-методологічні основи екологічної безпеки геосистем [Текст] / М. М. Приходько // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету: серія: Географія. – Тернопіль: СМП «Тайп», 2012. – Вип. 31 – № 1. – С. 179–191.
12. Бобровський, А. Л. Питання оцінки впливу на навколишнє середовище [Текст]: моногр. / А. Л. Бобровський. – Рівне: Принт Хауз, 2014. – 543 с.
13. Вамболь, С. О. Оцінювання екологічного стану територій, прилеглих до місць зберігання відходів, на основі критерію екологічного резерву [Текст] / С. О. Вамболь, В. Ю. Колосков, Ю. Ф. Деркач // Техногенно-екологічна безпека. – Х.: НУЦЗ України, 2017. – Вип. 2. – С. 67–72. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1608>.
14. Мониторинг окружающей среды: руководство по применению экологических показателей в странах Восточной Европы, Кавказа и центральной Азии [Электронный ресурс] / Европейская экономическая комиссия ООН. – 2007. – 108 с. – Режим доступу: <http://www.unecsc.org/fileadmin/DAM/env/europe/monitoring/Belgrade/CRP1.Indicators.Ru.MK.pdf>.
15. Прогнозування рівня безпеки несанкціонованого сміттєзвалища з використанням імітаційного моделювання [Текст] / С. О. Вамболь, В. В. Вамболь, В. Ю. Колосков, Ю. Ф. Деркач // Екологічна безпека. – Кременчук: КрНУ, 2016. – № 2/2016(22). – С. 51–58. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1541>.
16. Одум, Ю. Экология [Текст] / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – 238 с.

Стаття надійшла до редакції 29.10.2017 р.

V. Koloskov

IDENTIFICATION OF SIGNIFICANT INDICATORS FOR ENVIRONMENTAL RESERVE CRITERION OF TERRITORIES ADJOINED TO WASTES STORAGE PLACES BASED

I have improved the integral criterion of assessment of environmental condition of the territory with the index of its environmental reserve level. Originality of the achieved result is in application of values characterizing degradation processes in ecosystems in the capacity of significant indicators for assessment of responses of surrounding natural environment on negative impact factors influence with the environmental reserve criterion. For evaluation of direct effect in short-term perspective I have proposed to choose the value of degradation processes surface area in ecosystems together with productivity of the kinds-indicators of first trophic level. For forecasting of degradation dynamics in medium and long-term perspective I have proposed to evaluate the speed of degradation surface area changes together with the population size of the kinds-indicators of fourth trophic level. Basing on improved environmental reserve criterion I have proposed improvement of the method of assessment of environmental condition of the territory adjoined with wastes storage places and forecasting of safety level of such objects on as respects to environmental quality indexes together with object parameters of extreme situation occurrence risk.

Keywords: environmental condition, integral criterion, environmental reserve, degradation degree, wastes.

В. Ю. Колосков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРИТЕРИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕЗЕРВА ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К МЕСТАМ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ

Усовершенствован интегральный критерий оценивания экологического состояния территории по показателю уровня ее экологического резерва. Новизна полученного результата состоит в применении в качестве значимых показателей для оценивания откликов окружающей природной среды на влияние факторов негативного воздействия критерием экологического резерва величин, характеризующих деградационные процессы в экосистемах. Предложено выбрать для определения эффекта прямого действия в краткосрочной перспективе величину площади деградационных процессов в экосистеме вместе с продуктивностью видов-индикаторов первого трофического уровня. Для прогнозирования динамики деградации на средний и долгий срок предложено определять скорость изменения площади деградации и численность популяции видов-индикаторов четвертого трофического уровня. Использование усовершенствованного критерия экологического резерва позволяет усовершенствовать метод оценивания экологического состояния территорий, прилегающих к местам захоронения отходов, и прогнозирования уровня безопасности подобных объектов по показателям качества окружающей среды и параметрам объекта, определяющим факторы риска возникновения чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: экологическое состояние, интегральный критерий, экологический резерв, степень деградации, отходы.

UDC 504.055

D. Tiniakov, PhD, Associate Professor
 Nanjing University of Aeronautics and Astronautics
 Jiangjun Road, 29, Nanjing, Jiangsu Province, China, 211106
Zhengqiang Cheng, Jie Liu, master student
 Beijing University of Aeronautics and Astronautics
 Xueyuan Road, 37, Beijing, China, 100191

ANALYSIS OF THE AIRCRAFT NOISE IMPACT ON ENVIRONMENT FOR DETERMINE THE RATIONAL WAYS OF ITS REDUCTION

Actuality of the study and the neediest to develop rational ways for aircraft noise reducing is shown. Directions for aviation noise reduction is proposed. Analysis of the problem of aircraft noise has shown that together with increasing cargo-capacity and passenger-capacity of the civil aircraft to increase and aircraft deleterious effect on the environment, including the human health. The structure analysis in general and aircraft noise in particular for determining rational ways of the noise reducing is performed. The following results were obtained: the main characteristics of the aircraft noise spectrum classification, noise characteristics classification, analyzed the main sources of aircraft noise and their noise characteristics are shown. The aircraft noise specifics with depending on the flight stage is given. The main ways to reduce aircraft noise proposed: improving characteristics of engines, as well as improved aerodynamic characteristics of airframe by rational choice of geometrical parameters of particular units.

Keywords: aircraft noise, noise level, noise intensity, noise frequency, noise reduction, protective coverage.

Problem statement. It is important to limit and minimize technogenetics impact on the change of physical environmental factors to preserve the living environment, which is safe for humans. One of these factors is the noise impact of aircraft. Exclude this impact entirely without renouncing of achievements of civilization is impossible and this is unacceptable [1, 2, 3]. Acoustic effects of civil aircraft, the largest in comparison with all other technical sources, unless considered relatively rare launches of spacecraft in sparsely populated areas and conduct of hostilities wartime.

Particularly acute this problem occurs at the airports area. ICAO consistently toughen the aircraft noise level requirements. Thus, objective circumstances and regulatory requirements are forcing designers to modify the approaches to the aircraft designing. But, to successfully complete the task – the noise reduction – is necessary to conduct the detailed analysis of the structure, sources and the impact of aircraft noise. This theme is explored in the proposed paper.

Statement of the problem and its solution. Sound is an undulating propagation of the elastic field particles vibrations. There are two concept of «sound» [4]:

- the biological concept – including acoustic vibrations, which perceived by humans hears, for an average healthy person is a vibration in the frequency range from $16 \dots 20$ up to $(16 \dots 20) \cdot 10^3$ Hz;

- physical concept – combining both audible and inaudible by a human sounds in the nominal range $0 \dots 10^{13}$ Hz. The sounds with frequencies equal of permil hertz are found in nature, so the lower limit of the frequency band is practically not limited. The upper limit of frequencies is limited due to the nature of the substance matter atomic-molecular structure: for gases is a 10^9 Hz, and for solid and liquid bodies – $10^{12} \dots 10^{13}$ Hz (figure 1).

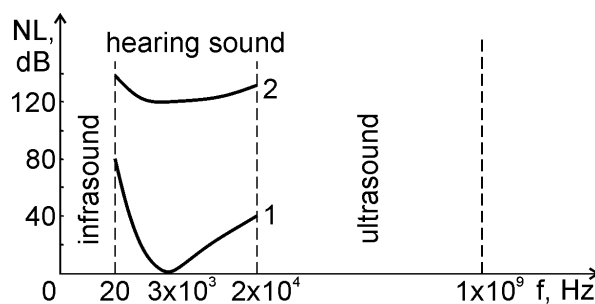


Figure 1 – Range of acoustic oscillations with the humans limitation: 1 – auditory threshold, 2 – threshold of noise pain

To accepted elastic vibrations with frequencies below the audible range of sounds to call infrasound, with frequencies above the top border – ultrasound and in the frequency range from $10^9 \dots 10^{13}$ Hz is hypersound. Audible sounds are divided into low frequency (less than 350 Hz), midrange (from 350 to 800 Hz) and high frequency (more than 800 Hz) [5].

The object, which is move in media faster than the sound speed in this media, creates a media shock-wave called a acoustic impact (figure 2) [6].

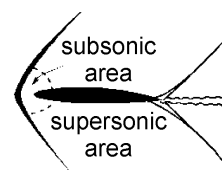


Figure 2 – The nature of the shock-wave at a airfoil for Mach number $M = 1.3$

The noise is any undesirable sound or complex of sounds, affecting especially at a human body. Biological effects on other organisms can significantly differ from the typical for humans. So, the upper limit the range of audible sounds for dogs is about $90 \cdot 10^3$ Hz.

Aircraft and their engines create a disturbance in the atmosphere, so it is the zone in which the pressure is decreased and increased about to average pressure of the undisturbed air. These perturbations are moved in the air media at the sound speed and are sensed by the organism as noise.

The objective sound characteristics. Sound waves spring if any force disturbs the media steady state. As a result, the media particles begin to fluctuate about the equilibrium state with the speed, much more than sound waves speed. Sound wave is propagated in media and is carried an energy [7, 8].

For the description of the oscillatory and energy processes in acoustics, it is generally accepted some concepts and their objective (physical) characteristics.

The propagation sound speed a , m/s, is related to the wavelength λ , m, frequency f , Hz = 1/s, and the period of oscillation T , s, by next equation

$$a = \lambda \cdot f = \lambda / T . \quad (1)$$

The sound speed change in air with accordance to its temperature change T , K or t , C is described by the equation

$$a = 20,1\sqrt{T} = 332 + 0,6t . \quad (2)$$

Sound energy E_s , J – energy, consisting of kinetic energy of oscillating particles and potential energy of media elastic deformation.

The source acoustic power (or sound power) W_s , W – is the total sound energy, emitted from the sound source in all directions of space per unit of time.

Sound pressure p , Pa = N/m², is a variable about unperturbed air media pressure, that springs when the sound waves move.

The sound intensity I , in W/m² – average flow (volume) of energy W_e , W , at this point of space per unit time through a unit of area F , m², which is perpendicular to the sound propagation direction, i.e. $I = W/F$. The sound intensity is a vector, because it is determined depending on the direction of the sound stream. The sound intensity is difficult to measure directly, so in the tests of sound measurements the sound pressure level is determine, and after that carry out the recalculation.

It known, that [8].

$$I = p \cdot V = p^2 / (\rho \cdot a), \quad (3)$$

or,

$$I = f(p^2), \quad (4)$$

where V is the root-mean-square value of the media particle oscillation velocity at a sound wave, m/s; ρ – media density kg/m³.

In addition, the product $\rho \cdot a$ is call specific acoustic drag, it is equal 410 [Pa×s/m] for air.

The emanation of acoustic energy by the real sources in environment with different directions is taking place unevenly. For the mathematical description of the features used focus factor

$$F = I_d / I_{sp} = I_d / W 4\pi r^2, \quad (5)$$

where I_d – the sound intensity generated by the source at point and at the direction of d , W/m²; I_{sp} –intensity non-directional (spatial) transducer equivalent power W , in W/m²; r – the distance from the source to the research point, m.

In practice, there are use: sound pressure p and the sound intensity I , which are different in absolute value 10^8 and 10^{16} times respectively, that is uncomfortable. So in acoustics accepted a certain level of index and its logarithmic value; so, first of all, used sound pressure levels and sound intensity. This way proved to be the more convenient due to the peculiarities of human hearing to respond not to the absolute, but at relative change of power sound.

The level of any index – the result of the comparison of actual values with its predefined (standard) value. Since, in accordance with the equation Weber-Fechner, the person perception different kinds of irritations, in particular sounds or vibration, to proportional to the logarithm of the energy volume, also the level of acoustic index convenient to show as the logarithm of the corresponding relative value.

As the standard value, used for comparison when the sound level determining, are accepted the minimum values of the sound intensity and sound pressure, which human hears with frequency sound of 1000 Hz. This is $I_0 = 10^{-12}$ W/m² and $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa. They got the name of thresholds of audibility.

Thus, the level of sound intensity (sound power level)

$$L = 10 \lg(I/I_0). \quad (6)$$

From equation (6), taking into account the dependence (5), the sound pressure level

$$L = 10 \lg(p^2/p_0^2) = 10 \lg(p/p_0)^2 = 20 \lg(p/p_0). \quad (7)$$

Acoustic power level

$$L = 10 \lg(W/W_0) \text{ at } W_0 = 10^{-12} W . \quad (8)$$

For the sounds (noise) analysis in the total range of frequencies it divided into separate lanes. In music and technical acoustics it most often divided into octaves –

frequency bands in which the upper limit frequency f_u at twice time higher than lower limit f_l , i.e. $f_u = 2f_l$.

The sound pressure levels are used for acoustic measurement, the levels of sound intensity – for acoustic calculations.

Noise spectrum is a components complex of the sound pressure levels, which received by frequency analysis. Noise spectrum is an impotent characteristic, it is the base for planning the technical ways to noise reduce. General noise level L_Σ , dB, is the value, that corresponding to the full intensity of the spectral components of an audio signal L_i in all its frequency range, divided into n lanes:

$$L_\Sigma = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} . \quad (9)$$

Subjective characteristics of the sound. In general, the subjective perception of sound is determined by the indexes, which are comparable with objective acoustic characteristics. The main differences relate to the following features of psycho-physiological humans responses [9, 10].

Hearing aid man reacts at same moment to all: frequency sounds (pitch of tone), their intensity and tone structure, depending on the relative intensity of additional oscillation of higher level than the base frequency, which determines by the pitch of tone.

In figure 1 shown how a person with normal hearing changing perception of sounds having minimum intensity with changing frequency, i.e. «hearing threshold curve» in the audible frequencies range.

The upper curve in figure 1 corresponds to the pain sensations threshold that present at sound level 120...130 dB, with little dependent on frequency. With more stronger sound these are possible rupture eardrums, contusion, and at levels above 160 dB the death [10].

The extent of the noise deleterious effects vastly depends also on how it differs from the usual noise and individual attitude to it. Noise during evening and night time with ceteris paribus has significantly more irritation. The absence of normal silence, especially at night, leading to premature fatigue and illness.

It is taken to use special correction (figure 3) for account for the man perceptual the different frequencies sounds. So in standard sound level meter, in accordance with the requirements of GOST 17187-87, provides several scales of frequency correction: *A*, *B*, *C*, and *D*.

Measuring with frequency correction scale *B*, *C* and *D* are rare, in specific cases, whereas the measurement by the scale *A* of the standard sound level meter is often as much as possible. They have specific name "sound levels scale *A*" and have specific designation – L_A , as well as a special unit of measurement – the decibel (dBA). When applying scale *D* it gets the audio levels by the scale of *D* – L_D in decibels (dBD).

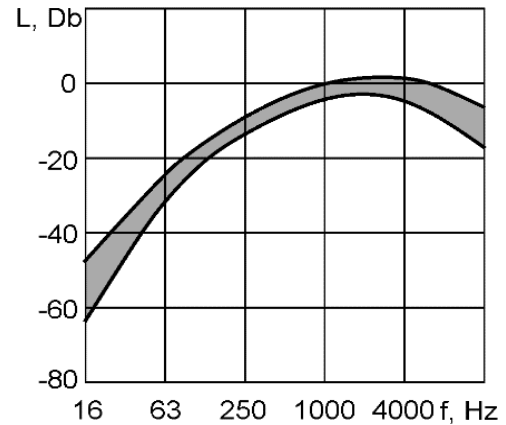


Figure 3 – Frequency response scale *A* of the standard sound level meter

Characteristics of aircraft noise. The aircraft noise has some differences from the stationary sources noise. The main of them are: the inconstancy of noise in time; frequent repeatability of noise; specific spectrum of sounds; available in the spectrum characteristic of discrete components [9, 10, 11, 12].

At the modern time the following approach (it based at the noise level scales *A* and *D*) uses for the indicative estimation of aircraft noise.

Inconstant in time noise, i.e. such whose sound pressure levels in time are changed more than 5 dB, characterized by energy equivalent sound level

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (t_i 10^{0,1L_{Ai}}) \right], \quad (10)$$

where T – the total period of observation, i.e. the total time of noise effect, with various levels of sound L_{Ai} ; n – the bands number that split the analyzed audio frequency range; i – the band index; t_i – time sound effects i -bands; L_{Ai} – the average sound level of the i -band with taking into account the features of his human perception.

In the world for estimation and further rule-making of aircraft noise by the recommendation of ICAO has developed and uses the following special criteria:

– *perceived noise level PNL*, measurement is in specific units PNdB. This criterion focuses on frequency contents of aircraft noise;

– *perceived noise level with accordance of the discrete components of the PNL*, measurement is in specific units TPNdB;

– *effective perceived noise EPNL*, measurement is in EPNdB. The criterion of EPNL takes into account not only frequency contents, but also the discrete components in the spectrum and the noise duration in accordance with the equation

$$EPNL = PNL + C + D \quad (11)$$

where $PNLM$ – the maximum value of the perceived noise level, PNdB; C – correction, taking into account the discrete components in aircraft noise, PNdB; D – correction, taking into account the duration of noise.

Methods for calculating perceived noise levels with according to the measurements, corrections C and D , as well as effective perceived noise levels are given in GOST 17229-85. For engineering calculations with the real measurements data, performed by the sound level meter with standard filters at the scales A or D , is used the simplified method with empirical dependencies for acoustic characteristics calculation. For example, when high precision is not required, for aircraft with turbojet engines used the approximate equation

$$PNL \text{ (or } PNLT) = L_A + 13 = L_D + 7,$$

or airplanes with turbofan engines

$$PNL = L_A + 15 = L_D + 9.$$

Sources of aircraft noise. The noises are divided into mechanical, hydraulic, electromagnetic and aerodynamic. Aviation noise is the aerodynamic type, it is one of the most significant sound level. They are the result of air flow around various bodies. The reason for the aerodynamic noise: vortex processes in the airflow; gas ripple caused by the rotation of the blades of fans,

turbines; fluctuations related with the inhomogeneity and ripple of the stream [13–18].

Noise sources from modern civil subsonic aircraft are: aircraft engines, auxiliary power units (APU) and external parts of airframe. On the ground at the time of the engine idling the primary source of noise is the APU. At takeoff, climbing and cruise flight the noises from main engines higher, then other sources, but also airframe specific structural elements create a part of this noise. At time of the descent and approach the large part of the noise the airframe produce.

In the engine noise sources are divided at internal and external groups. For subsonic passenger airplanes and helicopters widely use turbofan and turboprop engines. In them, the internal sources are: fan, compressor, combustor, turbine and exhaust section, and external sources are: stream jet and turboprop engine propeller.

The fan (compressor) noise spectrum consists of broadband and tonal (discrete) noise (figure 4). Discrete components are correspond to the main band from blades turning. For example, in the case shown in figure 4, they are the frequencies of 4,7 and 9,6 kHz. Broadband components of this noise occur due to vortexes, generated from airflow about blades and vane ring. At modern engine fans are present supersonic tip speed, that creates the shock waves and very uneven field pressure at turning blades, as the result, the noise from blades turning and general fan noise rough increases.

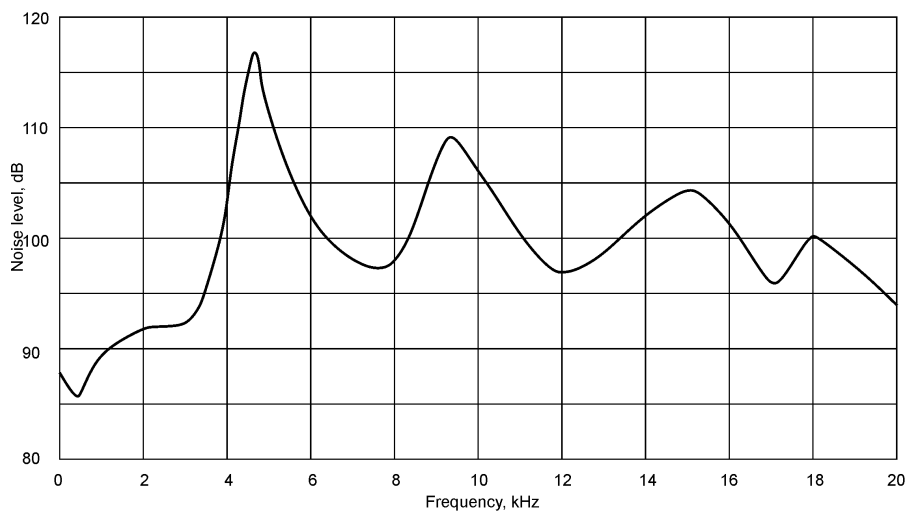


Figure 4—Typical noise spectrum from engine compressor

At the high-bypass ratio engines internal noise of the hot part consists of noise combustion chambers, turbines and exhaust section.

Combustion noise – low frequency broadband. Its intensity strongly depends on the shape and size of the chamber. Can-annular combustion chambers produce noise more than annular combustor.

The turbines noise has the same reasons that and fan, but it has the following feature. The stream, exiting from the combustion chamber, has increased irregularity and fluctuations (random deflections, oscillations), so all the noise components the rough increased. Discrete

components are present at the range of high and most disagreeable medium frequencies (last are present at slow-turning turbines fans).

Noise exhaust channel is relate of its high speed, high turbulence and inhomogeneity for stream after the turbine. It consists of rectifier parts flow noise and other obstacles, turbulent noise, noise of interaction with the channel border.

Internal sources noise is emitted in the rear hemisphere with the high angle (60...70° for maximum emission). This increases aircraft noise at climbing and landing.

The turbulent pulsations in zone of jet mixing with the external airflow is a main reason of the jet noise. The jet noise acoustic power is proportional to the area of the output nozzle and eighth degree specific exhaust velocity. While the largest part of the sound energy emitted at the initial part of the jet, and beyond 10...15 diameters of the nozzle the jet is silent.

With increasing jet stream diameter and gas temperature the noise spectrum is shifted toward lower frequencies, with increasing jet velocity – in the direction of high frequencies. Therefore, the low-frequency and medium-frequency noise are typical for the modern gas-turbine engines

For turbojet engines is characteristically that jet noise is significantly higher than the internal engine noise. The overall level of the acoustic power in the wide frequency range can be approximately estimated by the equation

$$L = 80 \cdot \lg V_n + 20 \cdot \lg \rho_n + 10 \cdot \lg F_n - K, \quad (12)$$

where V_n – jet velocity from the nozzles; ρ_n – jet gas density in the nozzle exhaust cross-section; F_n – nozzles cross-section area; K – jet temperature-dependent variable value, $K = 57$ dB for cold jet, $K = 44$ dB for hot jet.

Propeller noise is the main for turboprop engines. It is the result of blades force impact on the air, in which

there are: displacement air, the turbulent layer generation on the blades surface and in wash. Additional noise is the result of shock waves and local seals. They are present at subsonic and supersonic speeds of the blades tips. The main characteristics of the propellers, which influence on the noise: propeller diameter; blades number; specific blades tip speed (Mach number).

Conclusions. International requirements for the aircraft noise level continue to toughen up and airports are preparing to control of their execute. So, in Europe bigger part of airports already are equipped with remote control of aircraft noise.

Acoustic improvement of civil aircraft depends on the action plan to reduce noise generated by airplanes and helicopters. Since the problem of aircraft noise is complex, then the noise proof requires the solution solving at many interrelated tasks [4]:

- creation of low-noise engines;
- development and using new passive noise-proof equipment (coverage);
- development and using active noise-proof equipment (noise against noise);
- improving flight performances of aircraft;
- analysis of rational engines arrangement;
- decreasing aerodynamic noise from airframe, landing gear, etc.

REFERENCES

1. Aircraft noise report. BDL – Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft, 2015. – 22 p.
2. Dobrzynski, W. Almost 40 Years of Airframe Noise Research – What did we achieve? [Text] / W. Dobrzynski // 14th Aeroacoustics Conference. – Vancouver, 2008. – 37 p.
3. Hui Xie, The characteristics and control strategies of aircraft noise in China [Text] / Hui Xie, Heng Li, Jian Kang // Applied Acoustic. – 2014. – № 84. – P. 47–57.
4. Небел, Б. Наука об окружающей среде: как устроен мир. [Текст] / Б. Небел. – М.: Мир, 1993. – 424 с.
5. Большая энциклопедия транспорта в восьми томах. Авиационный транспорт. – М.: Машиностроение, 1995. – Т. 2. – 400 с.
6. Кулагин, Ю. Н. Проблемы звукового удара [Текст] / Ю. Н. Кулагин // Итоги науки и техники. Воздушный транспорт. – М.: ВИНТИ, 1979. – Т. 7. – С. 99–158.
7. Guidelines for Community Noise. World Health Organization. – Geneva, 1999. – 160 p.
8. Validation and Improvement of Airframe Noise prediction Tools. Final Publishable Summary Report. ACP8-GA-2009-233680-VALIANT, 1981. – 11 p.
9. General Aviation Interior Noise: Part III – Noise Control Measure Evaluation. NASA/CR-2002-211667. San Antonio: Southwest Research Institute, 2002. – 60 p.
10. Защита окружающей среды при авиатранспортных процессах [Текст] / В. Г. Ененков, В. Г. Лучников, Г. Е. Лагутина и др. – М.: Транспорт, 1984. – 198 с.
11. Aviation noise. Buffalo Niagara International Airport [Text] // Noise Compatibility Study. – Part 150. – Vol. 1. – 2004. – 27 p.
12. Handbook of noise and vibration control [Text] // John Wiley & Sons. Inc. – 2007. – 1577 p.
13. Getting to grips with aircraft noise. Customer Services. Flight Operations Support & Line Assistance [Text] / Airbus. – 2003. – 85 p.
14. Filippone, A. Aircraft noise prediction [Text] / A. Filippone // Progress in Aerospace Sciences. – 2014. – № 68. – P. 27–63.
15. Redonnet, S. Aircraft Noise Prediction via Aeroacoustic Hybrid Methods - Development and Application of Onera Tools over the Last Decade: Some Examples [Text] / S. Redonnet // AerospaceLab. – 2014. – № 7. – P. 1–16.
16. Авиационная акустика [Текст] / В. И. Ганабов, Е. В. Власов, Б. М. Ефимцов и др. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.

17. Мельников, Б. Н. Шум сверхзвуковых транспортных самолетов, вопросы его нормирования и снижения [Текст] / Б. Н. Мельников // Итоги науки и техники. Воздушный транспорт. – М.: ВИНТИ, 1979. – Т. 7. – С. 5–37.
18. Noise reduction. Belgium White Atrium, Special edition. – 2014. – 16 p.

Стаття надійшла до редакції 26.10.17 р.

Д. В. Тіняков, Чжэнцян Чен, Цзе Лю

АНАЛІЗ ВПЛИВУ АВІАЦІЙНОГО ШУМУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ШЛЯХІВ ЙОГО ЗМЕНШЕННЯ

Показані актуальність дослідження та необхідність розробки раціональних шляхів зі зниження авіаційних шумів. Запропоновано напрями щодо зниження шуму авіаційної техніки (АТ). Аналіз стану проблеми авіаційного шуму показав, що з ростом вантажопідйомності й пасажиромісткості повітряних суден цивільної авіації збільшується шкідливий вплив авіаційної техніки на довкілля, в тому числі на здоров'я людини. Для визначення раціональних шляхів зниження шуму був виконаний аналіз структури шумів взагалі й авіаційних шумів зокрема. Отримані наступні результати: виявлено основні характеристики спектра авіаційного шуму, наведено класифікацію характеристик шумів, проаналізовано основні джерела шуму літаків, показані характеристики відповідних шумів. Надана коротка характеристика шуму АТ в залежності від стадії польоту. Запропоновані основні напрями щодо зниження авіаційного шуму: поліпшення характеристик двигунів, а також вдосконалення аеродинамічних характеристик літаків шляхом раціонального вибору геометричних параметрів окремих агрегатів.

Ключові слова: авіаційний шум, рівень шуму, інтенсивність шуму, частота шуму, шляхи зниження шуму, захисні покриття.

Д. В. Тиняков, Чжэнцян Чен, Цзе Лю

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ШУМА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ С ЦЕЛЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ ЕГО УМЕНЬШЕНИЯ

Показаны актуальность исследования и необходимость разработки рациональных путей по снижению авиационных шумов. Предложены направления по снижению шума авиационной техники (АТ). Анализ состояния проблемы авиационного шума показал, что с ростом грузоподъемности и пассажиромкости воздушных судов гражданской авиации увеличивается и вредное влияние АТ на окружающую среду, в том числе и на здоровье человека. Для определения рациональных путей снижения шума был выполнен анализ структуры шумов вообще и авиационных шумов в частности. Получены следующие результаты: выявлены основные характеристики спектра авиационного шума, приведена классификация характеристик шумов, проанализированы основные источники шума самолетов и показаны характеристики соответствующих шумов. Дана краткая характеристика шума АТ в зависимости от стадии полета. Предложены основные направления по снижению авиационного шума: улучшение характеристик двигателей, а также совершенствование аэродинамических характеристик самолетов путем рационального выбора геометрических параметров отдельных агрегатов.

Ключевые слова: авиационный шум, уровень шума, интенсивность шума, частота шума, пути снижения шума, защитные покрытия.

УДК 621.039.58

С. І. Азаров, д. т. н., ст. наук. співр., провід. наук. співр.

Інститут ядерних досліджень НАН України
пр. Науки, 47, м. Київ, Україна, 03680

В. Л. Сидоренко, к. т. н., доц., проф. каф.

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту
вул. Вишгородська, 21, м. Київ, Україна, 04074

О. С. Задунай, нач. центру

Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
вул. Залізняка, 6, м. Київ, Україна, 03142

ЩОДО ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ

У статті надається стислий опис методології імовірнісного аналізу безпеки, що застосовується в даний час для вирішення питань з безпеки в процесі експлуатації атомних станцій з реакторами ВВЕР. Розглядаються її переваги та недоліки. Показано, що проблема оцінки ризику в умовах невизначеності стану атомної станції займає домінуюче місце в загальній проблемі прийняття рішень. Наведено алгоритм імовірнісного аналізу безпеки атомних станцій та етапи його проведення. Перелічено проблеми, які повинні вирішуватися при оцінці безпеки атомних станцій за допомогою імовірнісного аналізу безпеки. Зазначаються причини значних невизначеностей імовірнісного аналізу безпеки. Приведено додаткові імовірнісні і ризик-орієнтовані показники і критерії для обґрунтування галузевих заходів щодо підвищення надійності управління аваріями на атомних станціях. Зроблено висновки про те, проведені у роботі дослідження не дають можливості обґрунтовано використовувати існуючі та розробляти нові технічні та організаційні заходи, що дозволяють знижувати частоту виникнення аварій до нормованого рівня.

Ключові слова: атомна станція, безпека, аналіз, ризик, реактор, потенційна небезпека, аварія, наслідки.

Постановка проблеми. Станом на 2017 р. в Україні експлуатується чотири атомні станції (АС) до складу яких входить 15 енергоблоків. За встановленою потужністю енергоблоків АС Україна посідає 7 місце в світі. Загальна встановлена потужність діючих українських енергоблоків складає 13835 МВт(ел.). Значущість атомної енергетики в Україні останніми роками суттєво підвищилась. До 2016 року майже 50 % електроенергії ОЕС України генерувалось вітчизняними АС, а останніми роками ця частка для окремих календарних місяців перевищувала показник 65 %.

Атомні станції внаслідок накопичення в процесі експлуатації значної кількості радіоактивних продуктів і наявності принципової можливості виходу їх при аваріях за передбачені межі представляють собою джерело потенційної небезпеки або джерело ризику радіаційного впливу на персонал, населення і навколишнє середовище. Ступінь радіаційного ризику прямо залежить від рівня безпеки АС, яка є одним з основних властивостей АС, що визначають можливість їх використання в якості джерела теплової та електричної енергії.

Відповідно до документа [1] поняття (або термін) «Безпека АС» визначено як «властивість АС при нормальній експлуатації і порушень нормальної експлуатації, включаючи аварії, обмежувати радіаційний вплив на персонал, населення і навколишнє середовище встановленими межами».

АС, що експлуатуються на даний час, є джерелами енергії, що задовольняють найжорсткішим екологічним вимогам в умовах їх

нормальної експлуатації. Вони повинні відповідати дуже жорстким міжнародним нормам [2]:

– щорічна імовірність тяжкого пошкодження АС не повинна перевищувати величини $1 \cdot 10^{-5}$ на один реактор;

– імовірність виходу радіоактивних речовин (РР) за межі герметичної оболонки АС – $1 \cdot 10^{-7}$;

– радіаційний вплив АС на населення та навколишнє середовище не повинен перевищувати ~1 % дози, що отримується від джерел природної радіації.

Потенційна небезпека виникає під час аварій, в процесі яких накопичені в тепловиділяючих елементах (твелах) та теплоносії 1-го контуру радіоактивні продукти можуть виходити за передбачені границі в кількостях, що перевищують встановлені для нормальної експлуатації межі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над проблемою дослідження безпеки АС працює багато вітчизняних і закордонних спеціалістів та науковців. Різні аспекти та окремі підходи до дослідження цієї проблеми висвітлено в чисельних працях, наприклад, [2–4], але через те, що цей процес є безперервним, постійним і надзвичайно актуальним, дослідження тривають.

Так, використовуючи класичну методологію імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) аварійних подій на АС не стає менш. Більшість наукових праць відмічають переваги методології ІАБ, що застосовується в даний час для вирішення питань з безпеки в процесі експлуатації АС з реакторами ВВЕР, але мало хто вказує на її недоліки. Недостатня увага приділяється і до відносно малоімовірних аварійних подій на АС, які мають

катастрофічні наслідки. Постає питання доцільності використання класичної методології ІАБ, яке майже не порушується в останніх публікаціях.

Постановка завдання та його вирішення.

Загальноприйняті в світовій практиці атомної енергетики, в тому числі і в Україні, підходи до аналізу безпеки АС засновані на оцінках інтегральних імовірнісних показників безпеки їх роботи [5]. Інтегральна імовірність виникнення тяжкої аварії (з пошкодженням ядерного палива) для сучасних АС повинна становити менш ніж 10^{-4} – 10^{-5} (1/реактора-років), а інтегральна ймовірність наднормативного радіаційного викиду – менше ніж 10^{-6} – 10^{-7} (1/реактора-років) [6].

Аварія в 2011 році на 1–4 енергоблоках АС Fukushima-Daiichi, а також серії інцидентів і аварій на ряді інших АС в різних країнах світу виявили певну обмеженість загальноприйнятих підходів до аналізу та оцінками безпеки АС, що експлуатуються. Так, наприклад, всі аварійні енергоблоки АЕС Fukushima-Daiichi відповідали зазначеним встановленим імовірнісним критеріям безпеки, однак, уникнути великої аварії (максимальний 7-й рівень за шкалою МАГАТЕ), що мала катастрофічні екологічні наслідки, не вдалося. Події, що відбулися на АС Fukushima-Daiichi, змусили все світове ядерне співтовариство і державні органи регулювання ядерної безпеки знову (після Чорнобильської катастрофи) повернутися до необхідності перегляду підходів до оцінки (інакше, до переоцінки) безпеки всіх діючих АС [7]. Одним з основних виявлених концептуальних недоліків існуючих загальноприйнятих підходів до оцінки ядерної та радіаційної безпеки АС слід визнати недостатню увагу до відносно малоімовірних аварійних подій, які мають катастрофічні наслідки.

У той же час необхідно відзначити, що проведені Державною інспекцією ядерного регулювання України (ДІЯРУ) «стрес-тести» за оцінкою (переоцінкою) безпеки діючих АС після аварії на АЕС Fukushima-Daiichi фактично не виявили нові «дефіцити» безпеки щодо зовнішніх екстремальних подій природного характеру [8, 9]. Однією з можливих причин таких результатів «стрес-тестів» можна вважати недостатнє врахування цілого ряду відносно малоімовірних аварійних подій внаслідок недостатнього використання в існуючих підходах до оцінки безпеки обґрунтованих методів моделювання процесів, які викликають ці події, що в свою чергу вимагає вдосконалення методологічних основ концепції розробки ефективних стратегій управління відносно малоімовірними тяжкими аваріями на АС.

Тому, вдосконалення існуючих підходів і методів у рамках загальної концепції аналізу та забезпечення техногенної безпеки АС, що враховують відносно малоімовірні аварійні події з катастрофічними наслідками, формалізація на їх основі наукових обґрунтувань положень і принципів, а також організація практичних заходів щодо забезпечення безпеки АС є актуальною проблемою державного значення.

АС являють собою складні людино-машинні системи, що мають ряд специфічних особливостей, наявність яких визначає необхідність розробки на основі використання методів теорії ймовірностей і теорії надійності, спеціальної методології для проведення комплексних досліджень і оцінки безпеки таких об'єктів.

Аналізи безпеки АС – це аналітичні оцінки фізичних явищ, що відбуваються при їх нормальній експлуатації та в умовах аварійних подій (в тому числі малоімовірних). Сучасні вітчизняні вимоги до аналізу та обґрунтуванню безпеки АС передбачають використання імовірнісних методів як необхідної умови повноти дослідження безпеки на всіх етапах життєвого циклу систем і устаткування ядерної енергоустановки. Відповідно до рекомендацій МАГАТЕ [6] результати оцінки безпеки належить використовувати для прийняття рішень з використанням інтегрованого ризик-інформованого підходу при якому результати та інформація, отримані в ході імовірнісних оцінок враховуються в сукупності в процесі прийняття рішень з питань безпеки.

На даний час такою загальноприйнятою методологією аналізу безпеки АС є традиційна класична методологія ІАБ [10]. В ній враховуються специфічні особливості АС, включаючи різноманіття експлуатаційних станів АС, конфігурацій або структур важливих для безпеки систем, режимів їх використання та проведення технічного обслуговування і ремонтів, видів і наслідків відмов систем, обладнання, елементів і помилкових дій експлуатаційного персоналу щодо впливу їх на виникнення вихідних подій аварій та виконання заданих функцій безпеки. Предметом дослідження ІАБ є так звані рідкісні події з можливими небажаними наслідками. Методологія ІАБ має прийнятну точність і практичну значущість, якщо всі її обмеження належним чином виконуються. Не існує чіткого кількісного критерію, що розділяє події з порушенням нормальної експлуатації і рідкісні події (наприклад, за частотою виникнення).

Проблема оцінки ризику в умовах невизначеності стану АС займає домінуюче місце в загальній проблемі прийняття рішень. Метою оцінок ризику є розробка рекомендацій щодо підвищення рівня безпеки АС (управління ризиком) на основі аналізу результатів оцінок ризику, що включає визначення домінуючого вкладу в нього, аналіз значущості, чутливості і невизначеності результатів оцінки. Основний внесок в ризик можуть вносити відмова обладнання і систем безпеки, відмова через загальні причини і людський фактор (персонал). Імовірнісний аналіз безпеки за своєю суттю націлений на визначення ймовірностей розвитку всіляких процесів (сценаріїв) на АС за початкових подій, що задаються. Як і ймовірність вихідних подій, так і ймовірності розвитку ініційованого процесу є предметом аналізу ІАБ. Паралельно йде аналіз станів АС, включаючи заданий кінцевий стан, що визначає наслідки. На виході ІАБ представля-

ється функція розподілу ймовірності певних наслідків або чисельні характеристики такого розподілу. Характеристикою ймовірнісної невизначеності є дисперсія такого розподілу або середньоквадратичне відхилення, що відображають усереднене значення можливих відхилень величини наслідків від математичного очікування. Чим менше відношення дисперсія – математичне очікування, тим менше невизначеність можливої величини наслідків.

Методологія ІАБ складається з таких кроків [11]:

1) постулювання або відбір вихідних подій аварій;

2) визначення можливих шляхів розвитку аварій (побудова «дерев подій»);

3) створення банку даних по надійності систем і елементів;

4) аналіз надійності систем безпеки;

5) облік людського чинника, що визначає надійність функціонування систем АС;

6) аналіз фізико-хімічних процесів при всіх можливих шляхах розвитку аварій;

7) оцінка ризику в прийнятій інтерпретації.

Етапи проведення ІАБ наведено на рисунку 1.

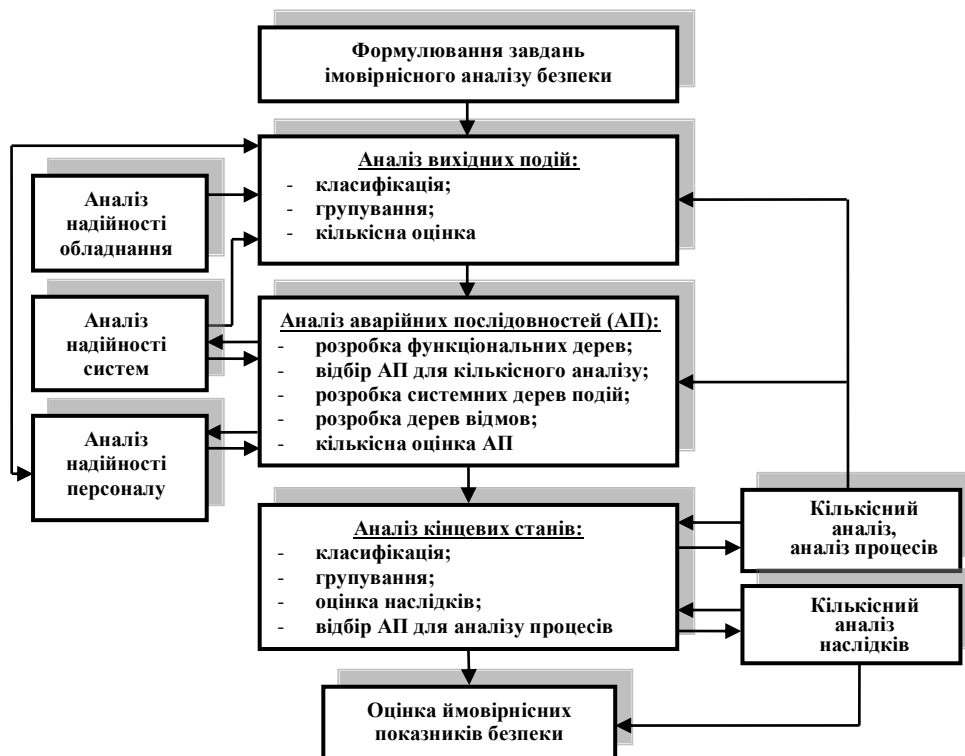


Рисунок 1 – Етапи проведення імовірнісного аналізу безпеки АС

Призначення ІАБ для АС – це оцінка рівня безпеки АС в імовірнісних кількісних показниках (імовірність пошкодження активної зони реактора, імовірність граничного аварійного викиду тощо) та підтвердження їх відповідності вищезгаданим міжнародним вимогам з безпеки.

На даний час ІАБ для АС виконується в кілька етапів [12]:

– ІАБ-1 – змістом якого є розробка ймовірнісної моделі блоку АС для визначення фінальних станів з пошкодженням джерел радіоактивності й оцінки значень ймовірностей їх реалізації;

– ІАБ-2 – змістом якого є розробка ймовірнісної моделі блоку АС для визначення розподілу аварійних викидів і наслідків аварій;

– ІАБ-3 має на увазі аналіз поширення радіоактивних речовин, що викидаються за межі герметичної оболонки, оцінку створюваних при цьому доз опромінення, розрахунок комплексних показників безпеки, включаючи оцінку ризику від АС.

ІАБ виконується для всіх експлуатаційних станів станції, в тому числі і для станів із зупиненим

реактором, для всіх видів внутрішніх і зовнішніх впливів. Для розробки ймовірнісних моделей ІАБ АС використовується метод дерев подій та дерев відмов.

Багаторічний досвід застосування ІАБ в ядерній енергетиці показав його високу ефективність у разі вирішення наступних завдань [4]:

– оцінка ефективності заходів (модернізацій) щодо підвищення безпеки;

– обґрунтування інструкцій (керівництв) з управління аваріями;

– порівняльний аналіз рівня безпеки різних енергоблоків АС;

– виявлення домінантних груп аварійних процесів, специфічних для кожного реактора;

– визначення «дефіцитів» безпеки, тобто найбільш вразливих місць для забезпечення безпечної експлуатації та ін.

Однак досвід також показав, що застосування ймовірнісних показників в якості нормативів безпеки недоцільно і необґрунтовано. Незважаючи на широке поширення ймовірнісних моделей для оцінки безпеки АС, що експлуатуються в Україні,

вони мають ряд суттєвих недоліків. Якщо не брати до уваги споконвічне для всіх дослідників питання отримання достовірних вихідних даних, то під час проведення оцінки безпеки АС за допомогою ІАБ необхідно вирішувати такі проблеми:

1) побудова динамічних (таких, що найбільш відповідають реаліям і потребам практики) моделей АС, що складаються з сотень і тисяч елементів (проблема розмірності);

2) автоматизація та формалізація процесів моделювання та розрахунку (проблема правдивості отриманих результатів і спосіб вирішення проблеми розмірності);

3) моделювання процесів функціонування та організаційних відносин між підсистемами та елементами АС (проблема адекватності моделей);

4) визначення множин працездатних станів АС, врахування багаторежимності і багатфункціональності її систем і елементів, широти діапазону зовнішніх умов застосування за призначенням (проблема адекватності і достовірності);

5) моделювання умов впливу уражаючих факторів на АС (проблеми адекватності, достовірності і розмірності);

6) моделювання процесів відновлення технічних засобів, що відмовили і дій обслуговуючого персоналу (проблеми розмірності, вихідних даних, достовірності);

7) оцінка стійкості підсистем і елементів АС до несприятливих впливів (проблема вихідних даних).

Можна стверджувати, що найбільш гостро стоїть проблема розмірності, а всі інші проблеми певною мірою зводяться до неї. Принциповою складністю, також є отримання інформації про поведінку параметрів АС у численних станах, які диктуються деревами подій, що вимагає статистичних методів і математичних моделей, довготривалих спостережень для встановлення стійких рядів даних згідно із законом великих чисел. Проведення ІАБ в сформованому поданні, коли немає ще інженерно-технічного опрацювання всіх систем АС – річ нереальна. Наближеність можливих оцінок вносить значний вклад в невизначеність одержуваних результатів.

Згідно із сучасними математичними уявленнями невизначеність аналізу досягнення (недосягнення) заданих критеріїв ефективності може бути віднесена до одного з двох основних типів: випадковому (імовірнісному) і нечіткому (теорія можливостей, теорія нечітких множин та ін.). Традиційні підходи до управління ризиками ґрунтуються на оцінці можливих наслідків потенційних подій. Вони не зовсім придатні до вкрай малоімовірних ризиків з серйозними наслідками, оскільки навіть якщо чекати настання цих подій, їх наслідки не вкладаються в передбачувані межі.

Проблема ускладнюється тим, що в процесі проведення ІАБ часто недооцінюється розмір невизначеностей вихідних даних. В результаті оцінки будуть більш невизначеними, ніж заявляється. Невизначеність збільшується, якщо є кореляція між

вихідними даними. У випадку великої невизначеності вхідних даних їх значна кореляція веде до такого великому розміру невизначеностей результатів, що вони стають практично безглуздими.

Інформація про характеристики випадкових вхідних даних у вигляді функції щільності ймовірності або її численних характеристиках формується на підставі відповідних статистичних даних. Оскільки статистичні дані щодо надійності і безпеки для різних підсистем АС відсутні, виникає задача адаптації наявних даних для подібних підсистем і елементів діючих АС.

Основною проблемою є недостатня повнота адекватної бази даних. Не існує однозначних критеріїв її визначення і немає однорідної документації про неї. Вноситься велике свавілля, коли для конкретної АС виділяють дані і коли їх комбінують, використовуючи різні джерела.

Необхідне створення достовірних баз даних за показниками надійності систем, обладнання, устаткування та елементів ядерних енергоустановок, які є вихідними даними для розробки логіко-імовірнісних моделей ІАБ і виконання розрахунків. Використання недостовірних вихідних даних призводить до спотворення результатів ІАБ. Процес формування необхідної бази даних поряд з наявною статистичною інформацією носить вольовий експертний характер. До ймовірнісної невизначеності тут додається суб'єктивна невизначеність, пов'язана з рішеннями експертів. Необхідна розробка консолідованої методики для визначення показників надійності пасивних елементів (корпусного обладнання реакторів і турбін, трубопроводів, теплообмінників та ін.).

Методика імовірнісних розрахунків на міцність пасивних елементів відпрацьована в повному обсязі, а вихідні дані для неї часто задаються на підставі експертно-нормативного підходу, без урахування реальної дефектності матеріалів і надійності засобів контролю. Не виконується аналіз чутливості результатів розрахунків до змін вихідних даних, відсутні оцінки невизначеності, що призводить, зокрема, до значних розбіжностей в оцінках частот ініціюючих подій.

Зазвичай методологія ІАБ базується на незалежних відмовах, залежні ж відмови враховують на пізньому етапі, причому існуюча обробка даних неповна. Слід зазначити, що база даних залежних відмов особливо мала. Залежності між інтенсивностями відмов і вихідними подіями приймаються в розрахунок недостатньо. Відсутні методики або моделі, що дозволяють отримувати надійні результати з досить вузьким діапазоном невизначеностей. Розрахунок однієї і тієї ж АС різними групами аналітиків може привести до результатів, що відрізняються на декілька порядків. Це ще одна причина значних невизначеностей ІАБ. Сучасні оцінки дають занадто мале значення імовірнісних показників через неповне врахування лише залежних відмов, навіть якщо всі інші проблеми ігноруються. Необхідно створити бази

даних для моделювання відмов загального вигляду великої розмірності, коли число резервних елементів в групі обладнання, що аналізується, перевищує чотири пасивних елементи (зворотних клапанів, теплообмінників, повітряних затворів та ін.).

На АС, що експлуатуються, в ряді випадків часто відсутня в повному обсязі необхідна технічна документація, що регламентує виявлення і аналіз рідкісних, малоімовірних подій з відмовами загального вигляду, результатом чого є відсутність експлуатаційної бази даних по вказаних подіях. Необхідно моделювання відмов загального вигляду багатоканальних систем зі зниженим впливом факторів спільності, збільшення розрахункового інтервалу моделювання роботи систем у разі виникнення аварії (більше 24 год після виникнення ініціюючої події) і оцінка неготовності через виведення у позаплановий ремонт устаткування систем безпеки.

В ІАБ береться до уваги тільки простий вид людських помилок – необачність, похибка. З ІАБ виключені складні форми помилок людини, непередбачувані фізичні процеси, саботаж, терористичні акти, багато видів неочікуваних дефектів. Вони включають в себе наступні категорії: напруги трубопроводів, що перевищують допустимі значення; неправильна установка обладнання; втрата пожежостійкості електричних кабельних проходок; помилки в електромережах і контрольних контурах; несейсмостійке виконання приладових панелей. У більшості випадків такі дефекти не можуть бути включені в ІАБ, так як непередбачувані і немає адекватної бази для оцінки імовірностей відмови.

Результати ІАБ, швидше за все, – індикатор ризику обмеженого масштабу, корисний тільки для обмежених цілей. Критики практичного використання ІАБ вважають, що існуюча інтерпретація отриманих результатів ІАБ вводить в оману і повинна бути змінена.

Однак наведені висновки не відкидають доцільність ІАБ. Навпаки, вони вказують на необхідність розширення можливостей його застосування, наприклад, у вигляді ризик-орієнтованого підходу в атомній енергетиці. Перспективним питанням стає розширення його можливостей у частині вирішення конкретних практичних завдань щодо підвищення безпеки АС, в тому числі, і застосування таких додаткових імовірнісних і ризик-орієнтованих показників і критеріїв для обґрунтування галузевих заходів щодо підвищення надійності управління аваріями:

– імовірнісний показник ризику відмови

(непрацездатності) системи (в тому числі з причини помилкових дій персоналу);

– критерій ризику – проектні показники надійності;

– імовірнісний показник ризику невиконання проектних функцій (в тому числі з причини помилкових дій персоналу);

– критерій ризику – показники надійності виконання призначених функцій;

– імовірнісний показник ризику – не виявлення дефектів (прихованих відмов);

– критерій ризику – проектні показники надійності контролю технічного стану систем і устаткування та ін.

Висновки. 1. Аналіз і систематизація основних причин, екологічних наслідків і уроків важких техногенних аварій на АС Fukushima-Daiichi визначає необхідність принципового перегляду загальноприйнятих підходів до розгляду оцінки впливу відносно малоімовірних аварійних подій на безпеку систем і устаткування ядерних енергоустановок.

2. Проведений аналіз ефективності застосування основних імовірнісних методів, моделей та підходів існуючої концепції оцінки безпеки функціонування ядерних енергоустановок АС показав, що в даний час відсутні достатньо обґрунтовані імовірнісні методи моделювання впливів запроєктних малоімовірних аерогідродинамічних геофізичних процесів на системи та обладнання, що розташовані на промислових майданчиках АС. Це обумовлює актуальність розробки нових і вдосконалення існуючих імовірнісних і детерміністських методів і моделей для оцінки безпеки ядерних енергоустановок.

3. Незважаючи на широке поширення ймовірнісного методу для оцінки безпеки АС, він має низку істотних недоліків:

– неточності оцінювати ймовірність виникнення аварії на АС з урахуванням відмов із загальних причин;

– виявився з достатнім для практичних цілей ступенем малоефективним у випадках, коли невизначеності невідповідного походження відіграють вирішальну роль;

– програмні комплекси створені на основі ІАБ, мають ряд обмежень.

Все це в свою чергу не дає можливості обґрунтовано використовувати існуючі та розробляти нові технічні та організаційні заходи, що дозволяють знижувати частоту виникнення аварій до нормованого рівня.

ЛІТЕРАТУРА

1. НП 306.2.141-2008. Общие положения безопасности атомных станций. – Введ. 2008-04-01. – К.: Государственный комитет ядерного регулирования Украины, 2008. – 58 с.

2. Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 1 для атомных электростанций: Специальное руководство по безопасности № SSG-3 [Электронный ресурс] / Международное Агентство по Атомной Энергии. – 2014. – Режим доступа: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1430r_web.pdf (Дата обращения: 25.11.2015).

3. Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 2 для атомных электростанций:

Специальное руководство по безопасности № SSG-4 [Электронный ресурс] / Международное Агентство по Атомной Энергии. – 2014. – Режим доступа: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1443r_web.pdf (Дата обращения: 25.11.2015).

4. Дыбач, А. М. Методологические основы анализа и учета неопределённостей вероятностного анализа безопасности АЭС [Текст] / А. М. Дыбач // Ядерная и радиационная безопасность. – 2014. – № 4(64). – С. 8–16.

5. Комплексная (сводная) программа повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины [Электронный ресурс]. – К.: Энергоатом, 2010. – Режим доступа: http://www.npp.zp.ua/Content/docs/safety/KsPPB_p1.pdf (Дата обращения: 25.11.2015).

6. Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants // A report by the International Nuclear Safety Advisory Group. – Vienna: IAEA, 1999. – Safety Series № 75_INSG_3. – 105 p.

7. Щодо Плану дій з виконання цільової позачергової перевірки та подальшого підвищення безпеки АЕС України з урахуванням подій на Фукусіма-1 («stress-test»): Постанова Колегії Держатомрегулювання № 2 від 19 травня 2011 року [Електронний ресурс] / Державна інспекція ядерного регулювання України. – Режим доступу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/155446> (Дата звернення: 25.11.2015).

8. Результаты проведения «стресс-тестов»: Национальный отчет Украины [Электронный ресурс] / Государственная инспекция ядерного регулирования Украины. – 2011. – Режим доступа. <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=173977> (Дата обращения: 23.11.2014).

9. Про результати виконання цільової позачергової оцінки стану безпеки діючих енергоблоків АЕС з урахуванням подій на АЕС Фукусіма [Електронний ресурс] / Державна інспекція ядерного регулювання України. – 2011. – Режим доступу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/167923> (Дата звернення: 15.11.2014).

10. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения [Текст] / Ю. В. Швыряев и др. – М.: Ядерное общество, 1992. – 266 с.

11. Руководство по проведению вероятностного анализа безопасности атомных станций: Отчет. – М: МАГАТЭ, 1990.

12. Острейковский, В. А. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ [Текст] / В. А. Острейковский, Ю. В. Швыряев. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 352 с.

Стаття надійшла до редакції 01.11.2017 р.

S. Azarov, V. Sydorenko, O. Zadunay

ABOUT ESTIMATION OF SECURITY OF ATOMIC STATIONS OF UKRAINE

The article presents a brief description of the methodology of probabilistic safety analysis, which is currently used to address safety issues in the operation of nuclear power plants with LWR reactors. Its advantages and disadvantages are considered. It is shown that the problem of risk assessment in conditions of uncertainty of the state of the nuclear power plant takes a dominant place in the general problem of decision making. The algorithm of probabilistic analysis of the safety of nuclear power plants and the stages of its conduct are presented. The problems that should be solved when assessing the safety of nuclear power plants using a probabilistic safety analysis are listed. Causes of significant uncertainties in probabilistic safety analysis are indicated. Additional probabilistic and risk-oriented indicators and criteria for justifying sectoral measures to improve the reliability of accident management at nuclear power plants are presented. Conclusions are drawn that the studies carried out in the work do not provide an opportunity to make good use of existing ones and develop new technical and organizational measures that allow reducing the frequency of occurrence of accidents to the normalized level.

Keywords: nuclear station, safety, analysis, risk, reactor, potential danger, accident, aftermath.

С. И. Азаров, В. Л. Сидоренко, А. С. Задунай

ОБ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ УКРАИНЫ

В статье представлено краткое описание методологии вероятностного анализа безопасности, которая применяется в настоящее время для решения вопросов по безопасности в процессе эксплуатации атомных станций с реакторами ВВЭР. Рассматриваются ее преимущества и недостатки. Показано, что проблема оценки риска в условиях неопределенности состояния атомной станции занимает доминирующее место в общей проблеме принятия решений. Приведен алгоритм вероятностного анализа безопасности атомных станций и этапы его проведения. Перечислены проблемы, которые должны решаться при оценке безопасности атомных станций с помощью вероятностного анализа безопасности. Указываются причины значительных неопределенностей вероятностного анализа безопасности. Приведены дополнительные вероятностные и риск-ориентированные показатели и критерии для обоснования отраслевых мероприятий по повышению надежности управления авариями на атомных станциях. Сделаны выводы о том, проведенные в работе исследования не дают возможности обоснованно использовать существующие и разрабатывать новые технические и организационные мероприятия, позволяющие снижать частоту возникновения аварий до нормированного уровня.

Ключевые слова: атомная станция, безопасность, анализ, риск, реактор, потенциальная опасность, авария, последствия.

УДК 504.064

В. Є. Колесник, д. т. н., проф., проф. каф.**А. В. Павличенко**, д. т. н., доц., зав. каф.**Ю. В. Бучавий**, к. б. н., ас. каф.

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49600

УНІФІКОВАНА МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Розглянуто екологічні та техногенні наслідки багаторічного функціонування промислових підприємств. Проаналізовано методологічні підходи до комплексної оцінки рівня екологічної небезпеки промислового виробництва. Визначені критерії оцінки ефективності впровадження природоохоронних технологій на екологонебезпечних промислових підприємствах. Обґрунтована уніфікована методика кількісного і якісного оцінювання рівня екологічної небезпеки функціонування промислових підприємств, об'єктів та запроваджуваних технологій виробничого і екологічного спрямування. Методика базується на евристичному оцінюванні впливу техногенних чинників певних виробництв чи технологій за 4-бальною шкалою (0, 1, 2, 3) на окремі компоненти довкілля. Комплексна оцінка рівня екологічної небезпеки для довкілля проводиться за підсумковою 15-бальною шкалою, рівномірно поділеною на три якісних рівня.

Ключові слова: промислове виробництво, екологічна небезпека, методика оцінки, природоохоронні технології.

Постановка проблеми. Багаторічне функціонування на території України підприємств гірничо-металургійного, паливно-енергетичного агропромислового комплексів призвело до високих рівнів забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Виробнича діяльність промислових підприємств супроводжується постійним утворенням та накопиченням значних об'ємів відходів. Все це призводить до виснаження та деградації природних ресурсів, забруднення об'єктів довкілля, зростання захворюваності та скорочення тривалості життя населення промислових регіонів [1–3].

Складна ситуація, що склалася на території техногенно-навантажених регіонів України, потребує удосконалення підходів до визначення рівня екологічної небезпеки діяльності промислових підприємств [3–5]. Розробка й впровадження ефективної системи управління екологічною безпекою виробничих процесів та технологій на різних етапах їх життєвого циклу сприятиме покращенню екологічного стану територій як окремого підприємства так і промислових регіонів в цілому [4–7]. Саме тому постає наукова задача удосконалення методологічного підходу до комплексної оцінки рівня екологічної небезпеки (КРЕН) промислового підприємства чи певної технології для розробки та пошуку оптимальних форм екологізації виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення екологічної безпеки у промислових регіонах потребує регулярного оцінювання рівнів екологічної небезпеки функціонування промислових підприємств і об'єктів, а також різних технологій (в тому числі і нових), що застосовуються у виробництві або спрямованні на покращення екологічної ситуації [8–12]. Проте відсутність надійних даних про зміни стану компонентів

довкілля на різних етапах функціонування промислових підприємств або впровадження технологій ускладнює оцінку рівня їх екологічної небезпеки, без якої неможлива розробка комплексу заходів з покращення екологічного стану промислових регіонів [13–16]. Отже для ідентифікації видів і джерел екологічної небезпеки та подальшого оцінювання її рівнів необхідне системне обстеження промислових об'єктів та відповідних чинників їх функціонування, що впливають на основні компоненти навколишнього середовища, зокрема на атмосферу, гідросферу, літосферу, ґрунти і біоту [15–17].

Критеріями впливовості того чи іншого чинника на стан перелічених компонентів довкілля можуть виступати інтенсивність, періодичність та наслідки впливу виробничих, та інших техногенних процесів, що їх супроводжують [15–19]. Більшість науковців вважає, що рівень впливовості варто оцінювати у балах за результатами аналізу наукових (літературних) джерел щодо стану об'єктів довкілля, візуальних спостережень за ними, вимірів показників, що характеризують їх стан (за допомогою приладів і лабораторних аналізів), досліджень об'єктів на моделях тощо.

Такий методологічний підхід апробовано авторами роботи [18] для комплексного оцінювання рівнів екологічної небезпеки вугледобувних регіонів, зокрема на різних етапах функціонування вугільної шахти за впливом попередньо визначених пріоритетних техногенних чинників, обумовлених експлуатацією і ліквідацією вугільних шахт. Оцінювання впливу певного з указаних чинників проводилось на територіях вугледобувних регіонів за шкалою з 4-х балів (0, 1, 2, 3), а потім комплексне – за підсумковою 15-бальною шкалою, рівномірно поділеною на три рівня, що дозволило оцінити та порівняти за впливом на довкілля як способи

ліквідації шахт, так і ефективність реалізації природоохоронних рішень та заходів, тобто технологій, спрямованих на поліпшення екологічного стану вугледобувних регіонів.

Саме тому виникає задача узагальнення досвіду виконаного комплексного бального оцінювання та створення на його основі уніфікованої методики кількісного і якісного оцінювання рівня екологічної безпеки функціонування промислових підприємств, об'єктів та запроваджуваних технологій виробничого і екологічного спрямування.

Постановка завдання та його вирішення.

Метою поданої роботи є вдосконалення методики оцінювання екологічної безпеки функціонування промислових об'єктів та технологій. Для досягнення поставленої мети було поставлено та вирішено наступну задачу: розробка комплексної методики оцінювання екологічної безпеки для основних компонентів довкілля та довкілля в цілому від функціонування промислових підприємств і технологій. Для вирішення поставленої задачі поетапно сформулюємо і охарактеризуємо основні положення запропонованої методики.

Етап 1. Проводиться обстеження певного промислового регіону, виконується ідентифікація

видів і джерел екологічної небезпеки, визначаються пріоритетні чинники певного виробництва чи технології, які характеризують стан компонентів довкілля регіону, за впливом яких у подальшому визначатиметься комплексний рівень їх екологічної безпеки.

Пріоритетні чинники доцільно обирати за інтенсивністю впливу на довкілля на основі наявних або апріорних даних, тобто на основі аналізу відомих наукових даних відповідного напрямку, про характер і наслідки забруднення об'єктів довкілля в результаті функціонування певних промислових об'єктів або запровадження різних технологій. Також можливе використання даних статистичних звітів про обсяги викидів та скидів забруднюючих речовин, обсяги утворення та утилізації відходів, інформації про рекультивацію порушених земель та про ефективність застосовуваних природоохоронних заходів [18, 20].

Обрані пріоритетні чинники, загальна кількість яких може дорівнювати n , заносять в таблицю 1 (стовбець 2), подану у вигляді типової форми, подальше заповнення якої проводиться згідно з наступними етапами.

Таблиця 1 – Кількісна оцінка рівня екологічної безпеки для основних компонентів довкілля та довкілля в цілому від функціонування промислових підприємств, об'єктів, а також технологій, що застосовуються у виробництві або спрямуванні на покращення екологічної ситуації

№	Техногенні наслідки функціонування промислового об'єкта чи технології, як чинники негативного впливу на довкілля	Оцінка екологічного впливу чинників на основні компоненти довкілля, в балах – A_{ni}					Сумарні оцінки за окремими чинниками впливу
		Атмосфера	Гідросфера	Літосфера	Ґрунти	Біота	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Назва чинника 1	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	$\sum_1^5 A_{1i}$
2	Назва чинника 2	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	A_{25}	$\sum_1^5 A_{2i}$
...
n	Назва чинника n	A_{n1}	A_{n2}	A_{n3}	A_{n4}	A_{n5}	$\sum_1^5 A_{ni}$
I	Сумарні бали за всіма чинниками впливу (суми значень стовбців 3-8)	$\sum_1^n A_{n1}$	$\sum_1^n A_{n2}$	$\sum_1^n A_{n3}$	$\sum_1^n A_{n4}$	$\sum_1^n A_{n5}$	$\sum_1^n \sum_1^5 A_{ni}$
II	Середні бали (середні значення стовбців 3-8)	\bar{A}_{n1}	\bar{A}_{n2}	\bar{A}_{n3}	\bar{A}_{n4}	\bar{A}_{n5}	КРЕН
III	Загальний стан компонентів довкілля в регіоні (евристичні або експертні оцінки)*	A_{e1}	A_{e2}	A_{e3}	A_{e4}	A_{e5}	$\sum_1^5 A_{ei}$

*Загальний стан компонентів довкілля в регіоні A_{ei} , отриманий на основі евристичного або експертного оцінювання, що наводиться в рядку III, слугує орієнтиром, їх сума $\sum_1^5 A_{ei}$ – певною мірою достовірності розрахункової величини КРЕН.

Етап 2. Проводиться оцінювання екологічного впливу кожного n -го чинника на кожний i -ий

компонент довкілля ($i = 5$) в балах – A_{ni} за 4-бальною шкалою: 0 – вплив відсутній, тобто

суб'єктивно не відчутний і відповідає існуючим нормам, встановленим для певного з компонентів довкілля; 1 – мінімальний або опосередкований вплив, рівень якого наближений до граничних нормативних значень, але їх не перевищує (опосередкований вплив проявляються не прямо, а через інші показники); 2 – періодичний безпосередній або опосередкований вплив, тобто прямі і не прямі показники перевищують встановлені норми у певному відсотку випадків; 3 – безперервний безпосередній вплив, тобто спостерігається постійне перевищення нормативних показників.

Значення A_{ni} заносять у відповідні клітини таблиці 1, що розташовані на перехрестях рядків від 1 до n-го та стовпців 3–7).

Як показала практика, запропонована шкала балів 0, 1, 2, 3 трактується експертами, науковцями-дослідниками або персоналом екологічних служб підприємств достатньо однозначно, тому дає мінімальну похибку оцінювання реального стану об'єктів довкілля. Оцінки, що перевищують 0 балів свідчать про впливовість того чи іншого обраного для аналізу чинника, тобто дозволяють залишити певний чинник для подальшого комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки досліджуваного промислового об'єкта або технології. Якщо для певного n-го чинника буде виставлено п'ять нулів, то очевидно чинник виключають, як не впливовий.

Етап 3. Виконується аналітична обробка виставлених оцінок A_{ni} шляхом обчислення сум відповідних стовпчиків, позначених у рядку I та середніх балів \bar{A}_{ni} у рядку II:

$$\bar{A}_{n1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{n1};$$

$$\bar{A}_{n2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{n2};$$

$$\bar{A}_{n3} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{n3};$$

$$\bar{A}_{n4} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{n4};$$

$$\bar{A}_{n5} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{n5},$$

що фактично визначають вплив всіх обраних пріоритетних чинників на частинний рівень екологічної безпеки (ЧРЕН), тобто відповідно на атмосферу, гідросферу, літосферу, ґрунти і біоту за шкалою 0–3.

Остання середня: $\text{КРЕН} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{A}_{ni}$ характеризує комплексний рівень екологічної безпеки певного виробництва чи технології на довкілля за кумулятивною шкалою 0–15, що визначається сумациєю ЧРЕН, тобто сумациєю \bar{A}_{ni} . Зауважимо, що величина КРЕН визначається як сумою рядка II, так і стовпчика 8, збіг значень яких підтверджує правильність виконання розрахунків.

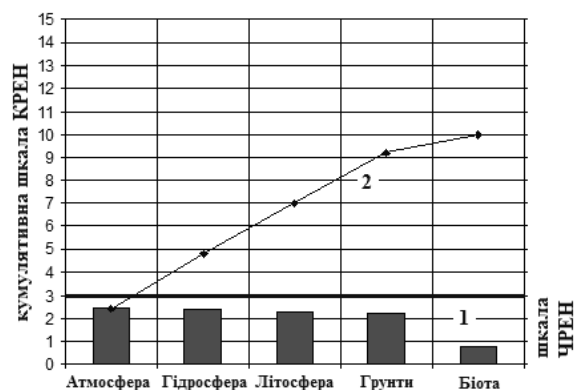
Етап 4. За визначенням на етапі 3 кількісним рівнем екологічної безпеки, тобто за значенням КРЕН, визначають якісний рівень екологічної безпеки, залежно від цього величини, як показано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Кількісно-якісна шкала КРЕН функціонування промислових підприємств і об'єктів, а також технологій, що застосовуються у виробництві або спрямуванні на покращення екологічної ситуації

Діапазон комплексних оцінок КРЕН	Рівень безпеки
0-5	низький
5-10	помірний
10-15	високий

На наш погляд поділ шкали оцінки рівня екологічної безпеки на три якісних ранги цілком достатній для наступного прийняття необхідних рішень.

Етап 4. Для графічного відображення результатів запропонованого оцінювання екологічного впливу техногенних чинників промислових об'єктів чи технологій на компоненти довкілля будують діаграму Парето [http://six sigma online] (рисунк 1).



Рисунк 1 – Зразок діаграми екологічного впливу техногенних чинників промислових об'єктів або технологій на компоненти довкілля та довкілля в цілому: 1 – стовпчаста діаграма значень частинних рівнів екологічної безпеки (ЧРЕН) з максимально можливим значенням 3; 2 –діаграма значень КРЕН, отриманих почерговою сумациєю стовпчиків діаграми 1, з максимально можливим значенням 15, відповідно до кумулятивної шкали

Важливо, що остання точка діаграми 2 на рисунку 1 і визначає КРЕН промислових об'єктів або технологій для довкілля. Саме за цим рівнем є можливість оцінювати і порівнювати екологічну безпеку промислового виробництва і різних технологій. При цьому нанесення на діаграму результатів оцінювання екологічного впливу техногенних чинників одразу для декількох промислових об'єктів або технологій дозволяє наглядно порівнювати екологічний вплив в цілому на довкілля, як різних промислових виробництв або

технологій, так і екологічну ефективність технологій, спрямованих на покращення екологічного стану територій та регіону в цілому.

Практичну реалізацію запропонованої методики проілюструємо на прикладі визначення екологічної небезпеки, обумовленої впливом техногенних чинників на довкілля при експлуатації або ліквідації вугільних шахт. Так, в результаті обстеження територій вугледобувних регіонів та аналізу

процесів вуглевидобутку підземним способом за їх можливим екологічним впливом було виокремлено 16 пріоритетних техногенних чинників вуглевидобутку, що є техногенними наслідками експлуатації або ліквідації вугільних шахт, рівень впливу яких на 5 основних компонентів та в цілому на довкілля можливо впевнено визначити за запропонованою методикою. Результати реалізації методики наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Комплексна оцінка рівня екологічної небезпеки підземного видобутку вугілля для основних об'єктів довкілля

№	Техногенні наслідки експлуатації шахти, як чинники негативного впливу на довкілля	Евристична оцінка екологічного впливу чинників на об'єкти довкілля, в балах					Сумарні оцінки за окремими чинниками впливу
		Атмосфера	Гідросфера	Літосфера	Ґрунти	Біота	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Зміна (зниження) стійкості та міцності гірських порід	0	2	3	2	1	8
2	Деформація масиву гірських порід	0	3	3	3	3	12
3	Просідання земної поверхні	0	3	3	3	3	12
4	Водонасичення масиву гірських порід	0	3	3	2	2	10
5	Порушення гідрологічного режиму	0	3	3	3	2	11
6	Виснаження водоносних горизонтів	0	3	2	3	2	10
7	Забруднення поверхневих водних об'єктів	0	3	2	1	2	8
8	Міграція забруднюючих речовин (викиди, скиди, відходи тощо)	2	2	2	2	2	10
9	Змішування шахтних вод з питними водами підземних горизонтів	0	3	1	2	2	8
10	Підтоплення та заболочування земель	0	3	3	3	3	12
11	Відведення земель під породні відвали	1	1	3	3	2	10
12	Відведення земель під відстійники шахтних вод	0	2	3	3	2	10
13	Горіння та пиління відвалів	3	1	1	2	2	9
14	Деформації і руйнування будівель та об'єктів інфраструктури	1	2	3	3	2	11
15	Утворення вибухонебезпечних метано-повітряних сумішей	3	1	1	2	3	10
16	Емісія шахтних газів на земну поверхню	3	1	2	2	2	10
I	Сумарні бали за всіма чинниками впливу	13	36	38	39	35	161
II	Середні бали	0,81	2,25	2,38	2,44	2,19	10,07
III	Загальний стан компонентів довкілля в регіоні (евристичні або експертні оцінки)	3	3	3	1	3	13

Аналіз таблиці 2 виявив, що техногенні наслідки експлуатації вугільної шахти (стовпчик 2) негативно впливають практично на всі компоненти довкілля. При цьому слід зазначити, що визначені середні бали (наведені у передостанньому рядку II для стовпчиків 3–7) виглядають більш правдивими оцінками загального стану компонентів довкілля на територіях вугледобувних регіонів, у порівнянні з експертними оцінками, наведеними в останньому рядку III. Це цілком очевидно, оскільки середні

оцінки отримано на основі значно більшої кількості інформації (задіяні 16 чинників впливу, замість одного – «загальний стан компонентів довкілля»).

Сумація значень оцінок у стовпчиках 3–7 характеризує у балах вплив чинників вуглевидобутку на компоненти довкілля (рядок II), а сума рядку – комплексну оцінку рівня екологічної небезпеки експлуатації вугільної шахти, тобто КРЕН = 10,07 бала (рівень небезпеки «високий»).

Відмінність отриманих комплексних оцінок для різних виробництв і технологій дозволила запропонувати кількісно-якісну шкалу оцінок рівня екологічної небезпеки вугледобутку для довкілля, початкове значення якої очевидно є «0», а верхнє значення шкали залежатиме від обраного узагальнюючого показника експертних оцінок. Якщо обрати максимально можливу суму оцінок таблиці 16×5 , то верхнє значення шкали складе $5 \times 16 \times 3 = 240$, що не зручно для порівняння оцінок за чотирибальною шкалою. Тому було обрано сумарну оцінку середніх балів, верхнє значення шкали якої складає 15 балів (5×3 або $240/16$). Отже, шкала від 0 до 15 виглядає більш прийнятною для практичного використання, зокрема і при графічному відображенні, яка і була реалізована у запропонованій методиці.

Для графічного відображення результатів запропонованого оцінювання екологічного впливу техногенних наслідків функціонування промислових підприємств рекомендується будувати діаграму Парето (див. рисунок 1). Діаграма у межах загальної шкали 0–15 наочно характеризує рівні екологічної небезпеки функціонування промислового підприємства, у тому числі при різних схемах застосування природоохоронних технологій для кожного з 5-ти компонентів довкілля (стовбчасті гістограми за шкалою 0–3 бали, побудовані за

середніми балами, що наведені у рядку II таблиці 2). Комплексну оцінку небезпеки виробництва або технології для довкілля у промислових регіонах (графіки з маркерами за 15-бальною шкалою, що отримані як результат сумачії відповідних стовбчастих гістограм).

Висновки. В результаті проведених досліджень:

1. Обґрунтовано уніфіковану методику комплексного оцінювання рівня екологічної небезпеки експлуатації промислових об'єктів та технологій виробничого й екологічного спрямування. Її основою стала оцінка рівнів екологічної небезпеки на територіях діючих промислових об'єктів, яка передбачає оперативне визначення суми середніх балів оцінок за шкалою 0–3 бали екологічного стану 5 основних компонентів довкілля (атмосфери, гідросфери, літосфери, ґрунтів і біоти).

2. Комплексну кількісно-якісну оцінку рівня екологічної небезпеки на територіях промислових регіонів запропоновано визначати за підсумковою 15-бальною шкалою, рівномірно поділеною на три рівня небезпеки: «низький» (0–5 балів), «помірний» (5–10 балів), «високий» (10–15 балів), що дозволяє оцінити та порівняти за рівнем екологічної небезпеки не тільки промислові виробничі процеси, а, зокрема, і ефективність реалізації природоохоронних технологій або рішень та заходів, впровадження яких відповідно вплине на стан довкілля, міру якого дозволяють визначити запропоновані комплексні оцінки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шмандій, В. М. Теоретичні та практичні аспекти управління екологічною безпекою на основі антропоцентричного підходу [Текст] / В. М. Шмандій, О. В. Харламова // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна: серія «Екологія». – Х., 2013. – Вип. 9. – № 1070. – С. 24–30.
2. Харламова, Е. В. Теоретические основы управления экологической безопасностью техногенно нагруженного региона [Текст] / Е. В. Харламова, М. С. Малеваный, Л. Д. Пляцук // Екологічна безпека. – Кременчук: КрНУ, 2012. – №1 (13). – С. 9–12.
3. Пляцук, Л. Д. Синергетика: экосистемные процессы [Текст] / Л. Д. Пляцук, Е. Ю. Черныш, Д. Л. Пляцук // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 6 (89). – Ч.1. – С. 137–142.
4. Лисиченко, Г. В. Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління [Текст] / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль. – К.: Наук. думка, 2008. – 543 с.
5. Козуля, Т. В. Комплексна екологічна оцінка природно-техногенних комплексів на основі MIPS- і ризик-аналізу [Текст] / Т. В. Козуля, Д. І. Ємельянова, М. М. Козуля // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. – Х., 2014. – Т. 3. – № 10 (69). – С. 8–13. – doi: 10.15587/1729-4061.2014.24624.
6. Адаменко, М. І. Оцінка екологічного ризику в шахтних регіонах комплексно-інформаційним методом [Текст] / М. І. Адаменко, Е. А. Дармофал // Системи обробки інформації. – 2014. – № 8. – С. 171–173.
7. Бугаєва, Л. М. Використання методів системної динаміки для дослідження сталого розвитку регіонів України [Текст] / Л. М. Бугаєва, М. М. Османов, Г. О. Статюха // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. – Х., 2010. – Т. 2. – № 10 (44). – С. 22–25.
8. Белогуров, В. П. Разработка методологии интегрального оценивания экологического состояния территорий [Текст] / В. П. Белогуров // Східно-Європейський журн. передових технологий. – Х., 2014. – № 5/10 (71). – С. 51–56. – doi:10.15587/1729-4061.2014.28173.
9. Стоецкий, В. Ф. Оценка риска при авариях техногенного характера [Текст] / В. Ф. Стоецкий, В. И. Голинько, Л. В. Дранишников // Науковий вісник НГУ. – Дн., 2014. – № 2. – С. 117–124.
10. Savytskyi, M. V. Options of sustainable development of region's territory [Text] / M. V. Savytskyi, O. I. Bondarenko, M. M. Babenko, Yu. B. Benderskyi // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – Dn., 2015. – № 4. – P. 157–161.
11. Gavrilidis, A. A. Urban Landscape Quality Index – Planning Tool for Evaluating Urban Landscapes and Improving the Quality of Life [Text] / A. A. Gavrilidis, C. M. Ciocănea, M. R. Niță, D. A. Onose // Procedia Environmental Sciences. – 2016. – № 32. – P. 155–167. – doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.020.

12. Вамболь, С. О. Оцінювання екологічного стану територій, прилеглих до місць зберігання відходів, на основі критерію екологічного резерву [Текст] / С. О. Вамболь, В. Ю. Колосков, Ю. Ф. Деркач // Техногенно-екологічна безпека. – Х.: НУЦЗ України, 2017. – Вип. 2. – С. 67–72.

13. Козуля, Т. В. Комплексна екологічна оцінка природно-техногенних комплексів на основі MIPS- і ризик-аналізу [Текст] / Т. В. Козуля, Д. І. Смельянова, М. М. Козуля // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. – 2014. – № 3/10(69). – С. 8–13. – doi: 10.15587/1729-4061.2014.24624.

14. Антоненко, А. В. Аналіз стану розробок інформаційно-аналітичних систем моделювання екологічно небезпечних ситуацій [Текст] / А. В. Антоненко, Д. Л. Пляцук // Технологический аудит и резервы производства. – Х., 2015. – № 6/2(26). – С. 8–12. – doi: 10.15587/2312-8372.2015.56800.

15. Bezsonov, Y. Justification and formalization of approach to regional environmental safety evaluation [Text] / Y. Bezsonov, V. Andreev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 2/10(80). – P. 9–18. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.64843.

16. Soloshych, I. Development of systematics ranked structure of environmental protecting equipment for cleaning of gas emissions, wastewater and solid waste [Text] / I. Soloshych, I. Shvedchykova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 6/10(84). – P. 17–23. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.86462.

17. Статюха, Г. О. До питання кількісної оцінки екологічної безпеки при ОБНС [Текст] / Г. О. Статюха, В. А. Соколов, І. Б. Абрамов й ін. // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. – 2010. – № 6/6(48). – С. 44–46.

18. Колесник, В. Є. Оцінка ефективності реалізації природоохоронних заходів на вугільних шахтах [Текст] / В. Є. Колесник, А. В. Павличенко // Вісник НТУ «ХП»: серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ «ХП», 2016. – № 50(1222). – С. 142–146.

19. Vambol, V. Analysis of methods of identification of ecologically danger substances in atmospheric air [Text] / V. Vambol, N. Rashkevich // Техногенно-екологічна безпека. – Х.: НУЦЗ України, 2017. – Вип. 2. – С. 73–78.

20. Миронова, І. Г. Пути снижения техногенной нагрузки на горнодобывающие регионы Украины [Текст] / І. Г. Миронова, М. Н. Кононенко, О. Е. Хоменко, К. О. Юрченко // Збірник наукових праць НГУ. – 2017. – № 51. – С. 77–83.

Стаття надійшла до редакції 26.11.17 р.

V. Kolesnyk, A. Pavlychenko, Yu. Buchavyu

UNIFIED METHODOLOGY OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE LEVEL OF ECOLOGICAL HAZARD OF INDUSTRIAL OBJECTS AND EFFICIENCY OF IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

The ecological and technogenic consequences of long-term functioning of industrial enterprises are considered. The methodological approaches to the comprehensive assessment of the environmental hazard level of industrial production are analyzed. The criteria for assessing the effectiveness of environmental technologies implementation at ecologically hazardous industrial enterprises are determined. The unified methodology of quantitative and qualitative assessing the level of ecological danger of industrial enterprises and objects functioning and introduced technologies with production and ecological direction is substantiated. The methodology is based on a heuristic evaluation of the influence of man-made factors of certain industries or technologies on a 4-point scale (0, 1, 2, and 3) on individual components of the environment. Comprehensive assessment of the ecological hazard level for the environment is conducted on the final 15-point scale, evenly divided into three qualitative levels.

Keywords: industrial production, ecological danger, methodology of assessment, environmental protection technologies.

В. Е. Колесник, А. В. Павличенко, Ю. В. Бучавый

УНИФИЦИРОВАННАЯ МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрены экологические и техногенные последствия многолетнего функционирования промышленных предприятий. Проанализированы методологические подходы к комплексной оценке уровня опасности промышленного производства. Определены критерии оценки эффективности внедрения природоохранных технологий на экологически опасных промышленных предприятиях. Обоснована унифицированная методика количественной и качественной оценки уровня экологической опасности функционирования промышленных предприятий, объектов и вводимых технологий производственного и экологического направления. Методика базируется на эвристической оценке влияния техногенных факторов определенных производств или технологий по 4-балльной шкале (0, 1, 2, 3) на отдельные компоненты окружающей среды. Комплексная оценка уровня опасности для окружающей среды проводится по итоговой 15-балльной шкале, равномерно разделенной на три качественных уровня.

Ключевые слова: промышленное производство, экологическая опасность, методика оценки, природоохранные технологии.

УДК 504.064.36

Б. Б. Поспелов, д. т. н., проф., науч. сотр.
В. А. Андронов, д. т. н., проф., проректор
 Национальный университет гражданской защиты Украины
 ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКЛАССИЧЕСКОГО ПОДХОДА К НАИЛУЧШЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ФУНКЦИЯХ ПОТЕРЬ

Исследован неклассический подход к решению задачи наилучшей классификации экологической опасности объектов технической и природной сферы по наблюдаемым данным при невозможности точного определения функций потерь для решающих правил. Методология решения задачи базируется на представлении неизвестных функций потерь функциями произвольного вида, зависящими от наблюдаемых данных и некоторого составного вектора параметров. Получены наилучшие решающие правила классификации трех характерных состояний экологической опасности для объектов технической и природной сферы. Полученные решающие правила зависят от наблюдений и составного вектора параметров, оптимизируемого в соответствии с минимумом среднего риска классификации. Это позволяет использовать правила для наилучшей классификации экологической опасности объектов при минимуме априорных сведений о функциях потерь.

Ключевые слова: классификация экологической опасности, наблюдаемые данные, функция потерь, решающее правило.

Постановка проблемы. Многие задачи современной экологии сводятся к классификации (опознаванию) различных опасных ситуаций, событий, состояний природной, технической и социальной сферы. Классификация опасных экологических ситуаций обычно осуществляется той или иной системой сбора данных наблюдения (мониторинга) на основе реализации некоторого решающего правила. Способы определения решающего правила зависят от объема априорных сведений о наблюдаемых экологических ситуациях. При достаточно полной априорной информации решающие правила получаются на основе результатов классической теории статистических решений. Это означает, что непосредственное использование результатов классической теории статистических решений в случаях, когда априорная информация неполная или ничтожно мала, характерных для большинства реальных задач современной экологии, не представляется возможным [1–5].

Значительная нагрузка территории Украины мощными промышленными и энергетическими объектами (в 2015 г. функционировало 9919 объектов повышенной опасности) повышают риск возникновения экологической опасности (ЭО), убытки от которой можно сравнить с размером национального бюджета среднего государства [7]. При этом важным направлением обеспечения экологической безопасности Украины является решение проблемы достоверной классификации опасных экологических состояний объектов по данным мониторинга с целью выработки эффективных управляющих воздействий для устранения возникновения возможной экологической угрозы. В связи с этим особо актуальными являются исследования в области наилучшей классификации ЭО объектов на основе развития неклассических подходов.

Анализ последних исследований и публикаций.

Несмотря на достаточное развитие и широкое освещение в литературе статистической методологии, ее использование в научных исследованиях и практических разработках по экологии оказывается явно недостаточным [1–6]. Классическая методология, впервые рассмотренная в [8], используя байесовский подход, кроме критериев базируется на большом объеме априорной информации о наблюдаемых данных. Большинство реальных задач экологии характеризуется либо отсутствием такой информации, либо отсутствием уверенности в достаточной достоверности наблюдаемых данных. Это становится препятствием на пути непосредственного использования классической методологии.

При этом постоянно возрастающее антропогенное воздействие, неудовлетворительное состояние окружающей среды, истощение природных ресурсов, увеличение масштабов и длительности воздействия катастроф и загрязнений на окружающую среду значительно активизируют исследования по проблемам экологической безопасности объектов [9–12].

Известно, что современный уровень развития методологии анализа системных рисков базируется на рассмотрении опасных объектов и технологических процессов как статических систем с неизменяющимися во времени параметрами [13]. Однако непрерывно изменяющиеся риски возникновения и развития аварийных ситуаций на реальных объектах обуславливают значительные методическую и инструментальную погрешности классификации (распознавания) опасных ситуаций и при идентификации предаварийных ситуаций снижают достоверность и однозначность получаемой информации.

Большая часть исследований в рассматриваемой предметной области посвящена решению проблем, связанных с управлением промышленной и экологи-

ческой безопасностью объектов и оптимизацией систем возмещения ущерба от чрезвычайных ситуаций [14, 15]. При этом в [13] отмечается, что основными причинами низкой эффективности управления промышленной безопасностью и низкой достоверности получаемых данных являются: недостаточная полнота статистических данных и значительная методическая погрешность экстраполяции входных данных, приводящая к низкой достоверности оценки опасных ситуаций.

В общем случае реальные опасные объекты (ОО), по сути, представляют собой замкнутые системы, неприводимые к разомкнутым системам. Поэтому недостаток априорной информации приводит к необходимости совмещать изучение опасного объекта и управления им. Впервые возможности оптимального дуального управления на основе теории статистических решений рассматривались в работах [16, 17]. К сожалению, большинство известных к настоящему времени результатов в этой области касается не экологических приложений. Однако формализм этих результатов позволяет распространить их и на экологические проблемы. В частности это касается проблемы достоверности классификации (распознавания) ЭО различных объектов по данным мониторинга в условиях отсутствия точных данных или невозможности определения функций потерь при оптимизации решающих правил.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является исследование неклассического подхода, развиваемого в [17], применительно к решению задачи наилучшей классификации ЭО объектов технической и природной сферы по наблюдаемым данным при отсутствии возможности точного определения соответствующих функций потерь (рисков).

Динамику функционирования большинства ОО различной сферы с учетом прогноза их состояния можно представить в виде некоторого ситуационного процесса с тремя возможными состояниями. Первое состояние связано с ситуацией X_1^o , когда состояние ОО полностью соответствует заданным условиям функционирования объекта и в принципе появление ЭО маловероятно. Второе состояние связано с ситуацией X_2^o , когда состояние ОО не соответствует заданным условиям функционирования и может привести к ЭО, но пока не требуется применение активных мер по ее ликвидации. Третье состояние связано с ситуацией X_3^o , когда состояние ОО приводит к появлению ЭО, требующей применения активных мер по ее ликвидации. При этом каждая из упомянутых ситуаций появляется случайно.

Обозначим через X пространство рассматриваемых выше ситуаций ОО. Данное пространство разобьем на три области X_k , где $k = 1, 2, 3$. Для определения решающего правила необходимо сформулировать критерий качества

классификации ЭО ОО, т. е. опознавания ситуаций X_k^o , $k = 1, 2, 3$. Решающее правило должно быть таким, чтобы сформулированный критерий достигал экстремума. Это означает, что задача классификации состояний ОО состоит в наилучшем, в смысле заданного критерия, разбиении пространства ситуаций X на области X_k , $k = 1, 2, 3$.

Для конкретизации понятия «наилучшая классификация» введем матрицу потерь вида:

$$F(x, c) = \begin{bmatrix} F_{11}(x, c) & F_{12}(x, c) & F_{13}(x, c) \\ F_{21}(x, c) & F_{22}(x, c) & F_{23}(x, c) \\ F_{31}(x, c) & F_{32}(x, c) & F_{33}(x, c) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $F_{km}(x, c)$ – функции потерь для значений $k, m = 1, 2, 3$; c – составной вектор параметров функций потерь, равный $c = [c_1 \ c_2 \ c_3]$. Функции потерь $F_{km}(x, c)$, $k, m = 1, 2, 3$ характеризуют риски классификации, возникающие при отнесении ситуации X_k^o к классу ситуаций X_m^o или, при попадании ситуации X_k^o в область X_m .

На главной диагонали матрицы (1) расположены риски при правильной классификации состояния ОО, а по обеим сторонам от главной диагонали расположены риски (потери) при ошибочной классификации состояний. Будем полагать, что $F_{kk}(x, c) < 0$ для всех $k = 1, 2, 3$. Такие отрицательные риски можно интерпретировать как некие выигрыши при правильной классификации ЭО объекта. При этом ситуация из пространства X для каждого класса X_k^o характеризуется условной плотностью распределения $p(x/k) = p_k(x)$ и априорной вероятностью P_k . С учетом этого для рассматриваемого случая классификации ЭО объекта введем вектор априорных данных следующего вида:

$$P(x) = [p_1(x)P_1 \ p_2(x)P_2 \ p_3(x)P_3]^T. \quad (2)$$

В рассматриваемом случае средний риск классификации ЭО объекта представляет собой функционал границ Λ_{km} между областями X_k и X_m для всех $k, m = 1, 2, 3$ и составного вектора c . Для фиксированного составного вектора c классификация ЭО объекта будет определяться по границе Λ_{km} .

С целью возможности отыскания оптимальных, в смысле минимума среднего риска классификации ЭО объекта, границ и составного вектора, воспользуемся вектором характеристических функций решений вида:

$$\Theta(x, c) = [\Theta_1(x, c) \ \Theta_2(x, c) \ \Theta_3(x, c)]^T. \quad (3)$$

В векторе (3) характеристические функции

$$\Theta_m(x, c) = \begin{cases} 1, & \text{если } X \in X_m, \\ 0, & \text{если } X \notin X_m \end{cases}, \quad m = 1, 2, 3. \quad (4)$$

С учетом (1)–(3) величину среднего риска рассматриваемой классификации ЭО объекта можно представить в векторно-матричной форме

$$R(c) = \int_X \Theta^T(x, c) F^T(x, c) P(x) dx. \quad (5)$$

Тогда условие минимума среднего риска (5) будет определяться приравнованием градиента (5) по вектору c нулю, т. е.

$$\begin{aligned} \nabla_c R(c) &= \int_X (\nabla_c \Theta(x, c))^T F^T(x, c) P(x) dx \\ &+ \int_X \Theta^T(x, c) (\nabla_c F(x, c))^T P(x) dx = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

В выражении (6) матрица $\nabla_c F(x, c)$ характеризует чувствительность функции потерь (1) по вектору c , а вектор $\nabla_c \Theta(x, c)$ – вектор чувствительности характеристических функций по вектору c .

Полагая, что характеристические функции (4), определяющие границы Λ_{km} между областями X_k и X_m , при каждом фиксированном векторе c , доставляют минимум среднему риску (5), их чувствительность должна быть равна нулю, и первый интеграл в уравнении (6) должен равняться нулю, т. е.

$$\int_X (\nabla_c \Theta(x, c))^T F^T(x, c) P(x) dx = 0.$$

Следуя уравнению (6), это означает, что второй интеграл должен быть равен нулю, т. е.

$$\int_X \Theta^T(x, c) (\nabla_c F(x, c))^T P(x) dx = 0. \quad (7)$$

Поскольку $\nabla_c \Theta(x, c)$ представляет собой вектор многомерных δ – функций, которые за исключением точек, принадлежащих границам Λ_{km} между областями X_k и X_m для всех $k, m = 1, 2, 3$, равны нулю, то для заданной границы Λ_{sm} между областями X_s и X_m

$$\nabla_c R(c) = \int_{\Lambda_{sm}} \Delta_{sm}(x, c)^T P(x) dx = \int_{\Lambda_{sm}} f_{sm}(x, c) dx = 0. \quad (8)$$

В выражении (8) вектор $\Delta_{sm}(x, c) = F_s(x, c) - F_m(x, c)$ представляет собой разность векторов потерь классификации для областей X_s и X_m , которые в рассматриваемом случае определяются соответствующими (9) и (10) векторами

$$F_s(x, c) = [F_{1s}(x, c) \quad F_{2s}(x, c) \quad F_{3s}(x, c)]^T, \quad (9)$$

$$F_m(x, c) = [F_{1m}(x, c) \quad F_{2m}(x, c) \quad F_{3m}(x, c)]^T. \quad (10)$$

В выражении (8) функция $f_{sm}(x, c) = \Delta_{sm}(x, c)^T P(x)$ представляет собой разделяющую функцию, знак которой позволяет выполнять классификацию состояний объекта. При этом уравнение

$$f_{sm}(x, c) = \Delta_{sm}(x, c)^T P(x) = 0, \quad (11)$$

определяет поверхность, разделяющую области X_s и X_m .

Характерным отличием уравнения (11) является то, что разделяющая функция определяется задаваемым видом функций потерь с точностью до составного вектора параметров, наблюдаемыми данными и априорной информацией об ЭО объекта. С учетом этого оптимальное в смысле минимума среднего риска (5) решающее правило классификации ЭО объекта в рассматриваемом случае можно сформулировать в следующей форме: наблюдаемые данные (данные мониторинга) об ЭО объекта в виде $x \in X_k$, т. е. данные x относятся к классу X_k^0 , если $\Delta_{km}(x, c)^T P(x) < 0$, для всех $m = 1, 2, 3$. При этом вектор c определяется из условия (7).

В частном случае, когда по результатам данных мониторинга классификации подлежат два возможных состояния ЭО объекта (ЭО на объекте имеет место – состояние X_1^0 или ЭО на объекте отсутствует – состояние X_2^0) оптимальное в смысле (5) решающее правило классификации ЭО объекта принимает вид: $x \in X_1$, т. е. x относится к X_1^0 , если $f_{12}(x, c) < 0$, и $x \in X_2$, т. е. x относится к X_2^0 , если $f_{12}(x, c) > 0$.

В этом случае составной вектор c , входящий в функцию $f_{12}(x, c)$, будет определяться из условия (7) для всех $k, m = 1, 2$. Решающее правило для рассматриваемой задачи классификации ЭО объекта отличается от традиционных решающих правил теории статистических решений использованием не фиксированных функций потерь, а функций потерь, задаваемых с точностью до восстанавливаемых параметров и зависящих от наблюдаемых данных.

Для иллюстрации обобщающего характера описываемого неклассического подхода рассмотрим классический байесовский подход к задаче наилучшей классификации ЭО объекта. При классическом подходе функции потерь постоянны. Это означает что, в рассматриваемом случае, следуя классическому подходу, в (1) функции потерь для всех $k, m = 1, 2$ будут определяться в виде:

$$\begin{aligned} F_{12}(x, c) = w_{12} > 0, \quad F_{11}(x, c) = w_{11} < 0, \\ F_{21}(x, c) = w_{21} > 0, \quad F_{22}(x, c) = w_{22} < 0. \end{aligned} \quad (12)$$

С учетом этого представления (12) средний риск (5) будет определяться величиной

$$\begin{aligned} R = w_{11}P_1 \int_{X_1} p_1(x)dx + w_{21}P_2\beta + \\ + w_{12}P_1\alpha + w_{22}P_2 \int_{X_2} p_2(x)dx, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\alpha = \int_{X_2} p_1(x)dx$ – условная вероятность ошибки

первого рода, а $\beta = \int_{X_1} p_2(x)dx$ – условная вероят-

ность ошибки второго рода. Для принятых выше постоянных функций потерь в (1) $\nabla_c F(x, c) = 0$ и разделяющая поверхность (9) будет определяться функцией следующего вида:

$$\begin{aligned} f_{12}(x, c) = (w_{11} - w_{12})P_1p_1(x) + \\ + (w_{21} - w_{22})P_2p_2(x) = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

На основании (14) оптимальное решающее правило классификации ЭО объекта сводится к традиционному – вычислению отношения правдо-

подобия $l(x) = p_1(x)/p_2(x)$ и сравнению его с порогом, определяемым величиной

$$l_o = (w_{21} - w_{22})P_2 / [(w_{12} - w_{11})P_1]^{-1}.$$

Оптимальное правило означает, что если $l(x) > l_o$, то наблюдаемые данные x относятся к классу X_1^o (наличие ЭО на объекте). Если же $l(x) < l_o$, то наблюдаемые данные x относятся к классу X_2^o (отсутствие ЭО на объекте).

Выводы. Таким образом, исследован неклассический подход к решению задачи наилучшей классификации ЭО объектов технической и природной сферы по наблюдаемым данным при отсутствии возможности точного определения соответствующих функций потерь (рисков) для решающих правил. Основное отличие наилучшего решающего правила классификации ЭО объектов состоит в том, что разделяющая функция определяется произвольным видом функций потерь с точностью до составного вектора параметров, зависящих от наблюдаемых данных, и частичной априорной информации об ЭО объекта. Сформулировано оптимальное в смысле минимума рассматриваемого неклассического среднего риска решающее правило классификации ЭО в случае трех возможных состояний ЭО объекта.

В качестве иллюстрации более общего характера исследуемого неклассического подхода рассмотрен классический байесовский подход к бинарной задаче наилучшей классификации ЭО объекта в условиях полной информации. Показано, что для данного частного случая полученные в работе результаты совпадают с известными результатами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панкратова, Н. Д. Системный анализ в динамике диагностирования сложных технических систем [Текст] / Н. Д. Панкратова // Системні дослідження та інформаційні технології. – К.: Ін-т прикладного системного аналізу НАН України, 2008. – № 1. – С. 33–49.
2. Абдрахманов, Н. Х. Роль анализа причин аварий на объектах нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств в оценке уровня рисков [Текст] / Н. Х. Абдрахманов, Р. А. Шайбаков, Р. А. Байбурун // Нефтегазовое дело: науч.-техн. журн. УГНТУ. – Уфа: УГНТУ, 2008. – Т. 6. – № 1. – С. 189–190.
3. Абдрахманов, Н. Х. Управление промышленной и экологической безопасностью объектов нефтепереработки и нефтехимии на основе анализа рисков [Текст] / Н. Х. Абдрахманов, Д. А. Шавалеев // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М.: Открытое акционерное общество Всероссийский науч.-исслед. ин-т организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности, 2013. – № 3. – С. 5–9.
4. Абдрахманов, Н. Х. Научно-методические основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов нефтегазового комплекса на основе управления системными рисками: дис. д-ра техн. наук: 05.26.03 / Уфа: ГУП «Иптэр». – 2014. – 267 с.
5. Абдрахманов, Н. Х. Автоматизированная система управления рисками [Текст] / Н. Х. Абдрахманов, Р. А. Шайбаков // Актуальные вопросы разработки нефтегазовых месторождений на поздних стадиях. Технологии. Оборудование. Безопасность. Экология: материалы науч.-практ. конф. – Уфа: УГНТУ, 2010. – С. 214–218.
6. Шавалеев, Д. А. Управление промышленной безопасностью объектов топливно-энергетического комплекса на основе анализа и мониторинга рисков [Текст] / Д. А. Шавалеев, Н. Х. Абдрахманов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. – Уфа: УГНТУ, 2012. – № 6. – С. 435–441. – Режим доступа: http://www.ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA_1.pdf.

7. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2015 рік. – К.: Укр. НДІЦЗ ДСНС України, 2016. – 356 с.
8. Котельников, В. А. Теория потенциальной помехозащищенности [Текст] / В. А. Котельников. – М.: Госэнергоиздат, 1956.
9. Башкин, В. Н. Управление экологическим риском [Текст] / В. Н. Башкин. – М.: Научн. мир, 2005. –368 с.
10. Владимиров, В. А. Катастрофы и экология [Текст] / В. А. Владимиров, В. И. Измалков. – М., 2000. –160 с.
11. Владимиров, В. А. Оценка риска и управление техногенной безопасностью [Текст] / В. А. Владимиров, В. И. Измалков, А. В. Измалков: моногр. – М.: Деловой экспресс, 2002. –184 с.
12. Серов, Г. П. Техногенная и экологическая безопасность в практике деятельности предприятий. Теория и практика [Текст] / Г. П. Серов, С. Г. Серов. – М.: Ось-89, 2007. – 512 с.
13. Современное состояние разработки методологии анализа системных рисков при проектировании и эксплуатации нефтегазового оборудования опасных производственных объектов [Текст] / Н. Х. Абдрахманов, К. Н. Абдрахманова, В. В. Ворохобко, Р. А. Шайбаков // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. – Уфа: УГНТУ, 2014. – № 3. – С. 359–376. – Режим доступа: http://ogbus.ru/issues/3_2014/ogbus_3_2014_p359-76_AbdrahmanovNKh_ru.pdf.
14. Акимов, В. А. Проблема выбора оптимальной структуры национальной системы возмещения ущерба от природных и технологических чрезвычайных ситуаций [Текст] / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Т. Б. Тимофеева // Проблемы безопасности чрезвычайных ситуаций. – Х., НУЦЗ України, 2006. – № 6. – С. 15–26.
15. Абдрахманов, Н. Х. Управление промышленной и экологической безопасностью объектов нефтепереработки и нефтехимии на основе анализа рисков [Текст] / Н. Х. Абдрахманов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М.: Открытое акционерное общество Всероссийский науч.-исслед. ин-т организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности, 2013. – № 3. – С. 5–9.
16. Фельдбаум, А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем [Текст] / А. А. Фельдбаум. – М.: Наука, 1968.
17. Цыпкин, Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах [Текст] / Я. З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2017 р.

Б. Б. Поспелов, В. А. Андронов

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕКЛАСИЧНОГО ПІДХОДУ ДО НАЙКРАЩОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ ПРИ НЕВІДОМИХ ФУНКЦІЯХ ВТРАТ

Досліджено неklasичний підхід до вирішення завдання найкращою класифікації екологічної небезпеки об'єктів технічної та природного сфери по спостережуваним даними при неможливості точного визначення функцій втрат для вирішальних правил. Методологія вирішення задачі базується на уявленні невідомих функцій втрат функціями довільного виду, залежними від спостережуваних даних і деякого складеного вектора параметрів. Отримано найкращі вирішальні правила класифікації щодо трьох характерних станів екологічної небезпеки для об'єктів технічної та природного сфери. Отримані вирішальні правила залежать від спостережень і складеного вектора параметрів, що оптимізується відповідно до мінімуму середнього ризику класифікації. Це дозволяє використовувати правила для найкращої класифікації екологічної небезпеки об'єктів при мінімумі апріорних відомостей про функції втрат.

Ключові слова: класифікація екологічної небезпеки, які спостерігаються дані, функція втрат, вирішальне правило.

B. Pospelov, V. Andronov

INVESTIGATION OF A NONCLASSICAL APPROACH TO THE BEST CLASSIFICATION OF ECOLOGICAL HAZARD OF OBJECTS UNDER THE UNKNOWN FUNCTIONS OF LOSSES

Purpose. The non classical approach to the solution of the problem of the best classification of the ecological hazard of objects of the technical and natural sphere from the observable data is investigated with the impossibility of an exact definition of the loss functions for the decisive rules. **Methodology.** The methodology for solving the problem is based on the representation of unknown loss functions by functions of an arbitrary form, depending on the observed data and some composite parameter vector. **Results.** The best decisive rules for the classification of three characteristic states of ecological danger for the objects of the technical and natural spheres have been obtained. The resulting decision rules depend on observations and the composite vector of parameters, optimized in accordance with the minimum of the average classification risk. **Practical value.** This allows us to use the rules for the best classification of the environmental hazard of objects with a minimum of a priori information about the loss functions.

Keywords: ecological hazard classification, observed data, loss function, decision rule.

UDC 621.43.068.4 : 504.064.4

O. Kondratenko, PhD, Associate Professor of the Department
National University of Civil Protection of Ukraine
Chernyshevska Str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023

SELECTION OF CRITERIAL APPARATUS FOR COMPLEX ASSESSMENT OF ECOLOGICAL SAFETY LEVEL OF EXPLOITATION PROCESS OF POWER PLANTS

Present paper describes the results of selection of mathematical apparatus for the complex calculation criterial assessment of ecological safety level of exploitation process of power plants which equipped with piston internal combustion engine based on analysis of known ones. Proposed the classification of such mathematical apparatuses that most suitable for objects of assessment on the basis of type of set of used initial data. Implemented the analysis of advantages and lacks of such apparatuses and methodics of their application. Grounded of priority of application of types of such apparatuses. Grounded of recommendation of application of complex fuel and ecological criteria of prof. Parsadanov as the only one that operates with full set of legislative normalized factors of ecological safety, have the physical sense and taking into account fuel consumption of engine. Determined the limits of application of concept «accident-free exploitation process». Analyzed of influence of fuel consumption of engine on factors of ecological safety of accident-free exploitation process of assessed objects. Determined that the recommended criterial apparatus is deprived of opportunity to take into account of legislative established values of influencing factors, obtain of their regime values and accounting of its wider spectrum.

Keywords: technogenic and ecological safety, complex criterial assessment, power plant, engine.

Problem statement. On combat duty of subdivisions of State Emergency Service of Ukraine are large number of power plants (PP) (units of fire, emergency and rescue technique) which equipped with piston internal combustion engine (PICE), namely diesel, as the main source of mechanical energy. Every unit of PICE is source of ecological danger, namely mass emissions of pollutants with exhaust gas (EG) flow, namely particulate matter (PM). The most effective way for increasing of ecological safety (ES) level of exploitation process of such objects through bringing of indicators of their EG toxicity to legislative normalized requirements is developing and realization of appropriate ecological safety management systems (ESMS). In this case, the material basis of complex solving of this problem is development and implementation of neutralization systems for legislative normalized pollutants in EG flow and its aggregates, namely particulate matter filters (PMF) [1, 2]. For qualitative and quantitative assessment of efficiency of application of already existing or new developed neutralization systems and their aggregates requires to applying of appropriate mathematical apparatus and methodic of its using. In connection with this, it seems relevant to substantiate of selecting of such apparatus with appropriate methodic of its application.

Statement of the problem and its solution.

Purpose of the study is substantiation of selection of criterial mathematical apparatus for assessment of efficiency of application of events and technical solutions for increasing of ES level of exploitation process of PP with PICE.

Object of the study is ES level of accident-free exploitation process of PP with PICE.

Subject of the study is mathematical apparatuses and appropriate methodic of its using for calculated assessment of object of the study.

Tasks of the study are:

1. Analysis of already existing mathematical apparatuses for criterial calculated assessment of object of the study.
2. Classification of mathematical apparatuses with taking into account of specific features of assessed objects.
3. Substantiation of priority of application of such mathematical apparatuses for case of PP with PICE.
4. Determination of influence of PICE fuel consumption as influencing factor on factors which characterized object of the study.
5. Substantiation of selection of the most appropriate mathematical apparatuses for criterial calculated assessment of object of the study from number of known.

Analysis of science and technical literature on topic of the study allows to determinate six already existing different criterial mathematical apparatuses which potentially can be applied for complex achieving of purpose of the study.

Based on results of this analysis proposed the classification of criterial mathematical apparatuses which presented on the figure 1.

Let's consider mathematical apparatus of criterias showed on figure 1.

Parsadanov complex fuel and ecological criteria K_{FE} describes by formula (1) and its components – by formulas (2) – (8) [3].

$$K_{FE} = \eta_{eme} \cdot (1 - \beta) = \eta_{eme} \cdot (1 - Z_e / (Z_f + Z_e)); \quad (1)$$

$$\eta_{eme} = 3600 / (H_u \cdot g_{eme}); \quad (2)$$

$$g_{eme} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{fi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^n (N_{ei} \cdot WF_i)}; \quad (3)$$

$$Z_f = g_{eme} \cdot P_f; \quad (4)$$

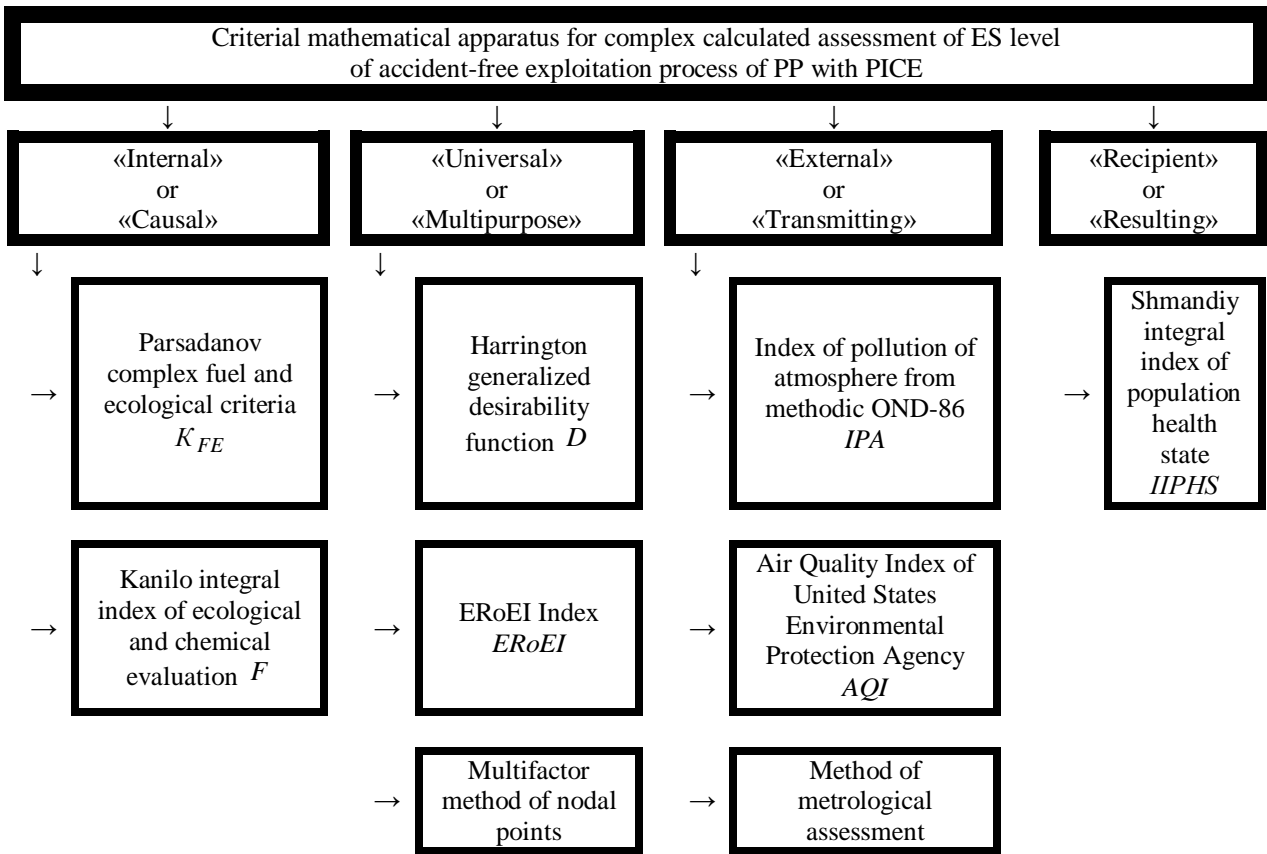


Figure 1 – Classification of criterial mathematical apparatus for complex calculated assessment of ES level of accident-free exploitation process of PP with PICE

$$Z_e = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{fi} \cdot WF_i \cdot U_{ei})}{\sum_{i=1}^n (N_{ei} \cdot WF_i)}; \quad (5)$$

$$N_{ei} = M_{Ti} \cdot n_{csi} / 9550; \quad (5a)$$

$$U_{ei} = \delta \cdot \sigma \cdot f \cdot g_{pri}; \quad (6)$$

$$g_{pri} = \sum_{k=1}^h (A_k \cdot G_{pk} / G_{fi}); \quad (7)$$

$$k = \{NO_x, PM, C_n H_m, CO\}, \quad (8)$$

where index i marks individual representing i -th operational regime of exploitation model of PICE; η_{eme} – middle exploitation value of effective efficiency coefficient of PICE; β – coefficient of relative exploitation ecological monetary costs; Z_e , Z_f and Z_{fe} – ecological damage compensation monetary costs, motor fuel monetary costs and total fuel and ecological monetary costs, \$(/kW·h); g_{eme} – middle exploitation value of specific effective mass hourly fuel consumption by diesel engine, kg/(kW·h); H_u – motor fuel lower heat of combustion; WF – weight factor of operational mode in exploitation model (relative lobar engine run time on i -th polygon of exploitation model); N_{ei} – effective power of PICE, kW; G_f – mass hourly fuel consumption of PICE, kg/h; P_f – price of motor

fuel mass unit, \$/kg; U_e – ecological damage compensation monetary valuation, \$/kg; δ – dimensionless index of relative dangerous of pollution for various territories; f – dimensionless coefficient, which taking into account the character of EG dispersion in atmosphere; $\sigma = P_f$ – dimension coefficient for converting scoring assessment of damage in the monetary; g_{pr} – specific effective mass hourly emission of k -th pollutant with PICE EG flow, kg/(kW·h); G_{pk} – mass hourly pollutant emission with PICE EG flow, kg/h; A_k – dimensionless index of relative aggressiveness of k -th pollutant as a EG component; $h = 4$ – number of legislative normalized pollutants in EG flow; M_T – torque of PICE, N m; n_{cs} – crankshaft speed of PICE, rpm.

Kanilo integral index of ecological and chemical evaluation F describes by formula (9) [4].

$$F_j = 10^{-6} \cdot \left\{ \frac{M_{CO}}{[CO]} + \frac{M_{CH}}{[CH]} + a \cdot \frac{M_{NO_x}}{[NO_x]} + b \cdot \frac{M_{Soot}}{[Soot]} \right\} + \left\{ c \cdot \frac{M_{SO_2}}{[SO_2]} + d \cdot \frac{M_{b(a)p}}{[M_{b(a)p}]} \right\}, \text{ m}^3/\text{test}, \quad (9)$$

where M_j – total mass emission of pollutant in PICE EG flow during test period on European driving cycle, g/test; $[j]$ – maximum permissible daily average concentration of j -th pollutant in air of populated areas, mg/m³; a, b, c, d – coefficients which accepted based on experimental estimates.

Index of pollution of atmosphere from methodic OND-86 IPA (or dimensionless concentration q) describes by formula (10) and its components – by formulas (11) [5].

$$q = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{MPC_i}; \quad (10)$$

$$c = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (11)$$

where index i represent i -th pollutants that polluting of atmospheric air; c – mass concentration of pollutant, mg/m³; MPC – maximum permissible concentration (MPC) of pollutant, mg/m³; A – dimensionless coefficient that depends from temperature stratification of atmosphere; M – mass secondly emission of pollutant, g/s; F – dimensionless coefficient that taking into account sedimentation rate of pollutants in atmospheric air; m and n – dimensionless coefficients that taking into account conditions of output of gas and air mixture from mouth of source of emission; η – dimensionless coefficient that taking into account influence of relief of terrain; H – height of source of emission under the Earth level, m; ΔT – difference between temperature of ejected gas and air mixture and temperature of environment atmospheric air, °C; V_1 – volume secondly flow rate of gas and air mixture, m³/s.

Air Quality Index of United States Environmental Protection Agency AQI describes by formula (12) [6].

$$AQI = \frac{AQI_{high} - AQI_{low}}{C_{high} - C_{low}} \cdot (C - C_{low}) + AQI_{low}, \quad (12)$$

where C – multiplicity of excess of normative value of MPC of pollutant; C_{high} – limit of multiplicity of excess of normative value of MPC which is greater than or equal to value C ; C_{low} – limit of multiplicity of excess of normative value of MPC which is less than value C ; AQI_{high} – value of index which corresponding to value C_{high} ; AQI_{low} – value of index which corresponding to value C_{low} .

ERoEI (Energy Returned on Energy Invested) $ERoEI$ describes by formula (13) and its components – by formulas (14) [7].

$$ERoEI = \frac{E_{Consumable}}{E_{Expended}} = \frac{NEG}{E_{Expended}} + 1; \quad (13)$$

$$NEG = E_{Consumable} - E_{Expended}, \quad (14)$$

where $E_{Consumable}$ – energy (work) produced by source (resource) which suitable for consumption (useful, exergy); $E_{Expended}$ – energy (work) expended for obtaining of source; NEG – Net Energy Gain, J .

Harrington generalized desirability function D describes by formula (15) and its components – by formulas (16) – (18) [8].

$$D = \sum_{i=1}^n (D_i \cdot WF_i) / \sum_{i=1}^n WF_i; \quad (15)$$

$$D_i = \sum_{k=1}^n \nu_k \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n d_{ki}^{\nu_k}}; \quad (16)$$

$$d_{ki} = \exp[-\exp(a_{ki} + b_{ki} \cdot r_{ki})]; \quad (17)$$

$$k = \{g_{NOxri}, g_{PMri}, g_{CnHmri}, g_{COri}, g_{e_i}\}. \quad (18)$$

where k represent k -th influencing factors; d – partial desirability function; r – value of influencing factor; a and b – constant coefficients which correlating the value of influencing factor with the reference points of desirability scale; ν – degree index, accounting of ponderability of influencing factor.

Shmandiy integral index of population health state $IIPHS$ describes by formula (19) and its components – by formulas (20) – (21) [9].

$$IIPHS = ABA - IBA, \quad (19)$$

where ABA – actual biological age, years; IBA – independent biological age, years.

$$ABA = \gamma + \sum_{i=1}^5 (\alpha_i \cdot \Pi_i) - \sum_{j=1}^3 (\beta_j \cdot I_j); \quad (20)$$

$$ABA = 0,58CE + 17,24, \quad (21)$$

where α, β, γ – empirical coefficients; Π_1 – subjective health indicator by questionnaire; Π_2 – systolic blood pressure; Π_3 – diastolic blood pressure; Π_4 – pulse blood pressure; Π_5 – duration of breath retention after deep inspiration; I_1 – vital volume of the lungs; I_2 – duration of breath retention after deep exhalation; I_3 – static balancing; CE – calendar age, years.

Method of metrological assessment describes by formulas (22) – (24) [10].

$$\begin{cases} V = (-\infty; V_{me} - \sigma_V) \Rightarrow G = 4; \\ V = [V_{me} - \sigma_V; V_{me}] \Rightarrow G = 3; \\ V = [V_{me}; V_{me} + \sigma_V] \Rightarrow G = 2; \\ V = (V_{me} + \sigma_V; +\infty) \Rightarrow G = 1, \end{cases} \quad (22)$$

where V – reduced emission of pollutant, tons/km²; V_{me} – mathematical expected value of emission of pollutant, tons/km²; σ_V – standard deviation of emission of pollutant, tons/km²; G – number of group of locality by ecological safety level (1 – high; 2 – medium; 3 – low; 4 – minimal).

$$V_{me} = \frac{I}{N} \cdot \sum_{i=1}^N V_i; \quad (23)$$

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{I}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (V_i - V_{me})^2}, \quad (24)$$

where N – amount of measures of reduced emission of pollutant; i – number of measure.

Multifactor method of nodal points [11] allows complex assessing of impact of relative values of influencing ES factors on values of some criteria of ES level using internal universal scale with one reference (nodal) point. Multidimensional surface which reflects that influence can be described by formula

$$g = \prod_{i=1}^n \varphi_i(x_i); \quad (25)$$

and for obtaining of absolute values of the criteria can be used formula

$$G = G_0 \cdot g, \quad (26)$$

where g – relative value of ES level criteria; φ – function that takes into account of influence of value of i -th ES factor on value of ES level criteria; x – value of i -th ES factor; G – absolute value of ES level criteria; G_0 – value of i -th ES factor in nodal point.

As it can be seen from data presented on figure 1 the main classification attribute in proposed classification is type of set of initial data using for calculated assessment. According to proposed principle:

- to the number of «internal» of «causal» criterial apparatuses we propose to include that which operates with regime and/or middle exploitation values of data about containing pollutants in PICE EG flow obtained by calculation or experimental way, for example like in studies [12, 13];

- to the number of «external» of «transmitting» criterial apparatuses we propose to include that which operates with data about containing pollutants in atmospheric air of urbanic system obtained by calculation or experimental way;

- to the number of «universal» or «multipurpose» criterial apparatuses we propose to include that mathematical apparatuses of which equally successful operates with both types of initial data set;

- to the number of «recipient» or «resulting» criterial apparatuses we propose to include that operates with data about values of response of objects of

influence of ES factors.

To the number of advantages of «internal» criterias it can be attributed the possibility of assessment of ES level of exploitation process of individual unit of technique. It especially relevant for technique of special purpose, fleet of which are a small part of vehicle fleet of settlement or its district, where fire station is based, and to compare obtained results with standards of toxicity of PICE EG flow. To the number of lacks of «internal» criterias it can be attributed the difficulty of obtaining of initial data set by experimental way, namely necessary of availability of engine test bench with loading machine and specific measuring equipment.

To the number of advantages of «external» criterias, as opposed to «internal», it can be attributed the possibility of assessment of ES level of urbanic system as a whole and to compare obtained results with values of maximum permissible concentration of pollutant in atmospheric air. It criterias also use as initial data set the information from net of meteorology stations and points of observing, from remote satellite scanning of Earth surface and so on. To the number of lacks of «external» criterias it can be attributed the principal impossibility of assessment of individual contribution of individual unit of special technique in pollution of environment.

The common advantage of «internal» and «external» criterias is structure of highly specialized well-established they mathematical apparatuses and also well-developed methodics of the application. But this feature also makes them unusable for assessment of ES level of any other objects.

«Universal» criterias, as opposed to other two, just differ in flexibility of they mathematical apparatuses and variability of methodic of the application. Wherein for accounting of ES factors which radically differ from mass hourly emission of pollutants in PICE EG flow (namely noise, vibration, informational and energetic pollution, liquid pollutants and solid wastes [1]) it is impossible to do without using of «universal» criterial apparatuses. But in this case it necessary to tune settings of the mathematical apparatus and to adjust methodic of its application.

«Recipient» or «resulting» criterial apparatuses characterized by that advantages what describes indirectly the final result of impact of manifestation of ES factors on the recipient, that is on parts of environment on protection of which are aimed the events which developed in corresponding ESMS. Thus, the analysis of such information can give the most objective picture of the ES level of urban system and its components. But that approach characterized by substantial disadvantages, the main of which are difficulty and high cost of obtaining of initial data set and also essential differences between types of initial data set for different kinds of recipients as well as for different units of the same kinds recipients

Based on worded above we should note that there is the priority of application of criterial apparatuses in descending order for the case of PP of special purpose (fire, emergency and rescue technique) which equipped with PICE as it shown in figure 2.

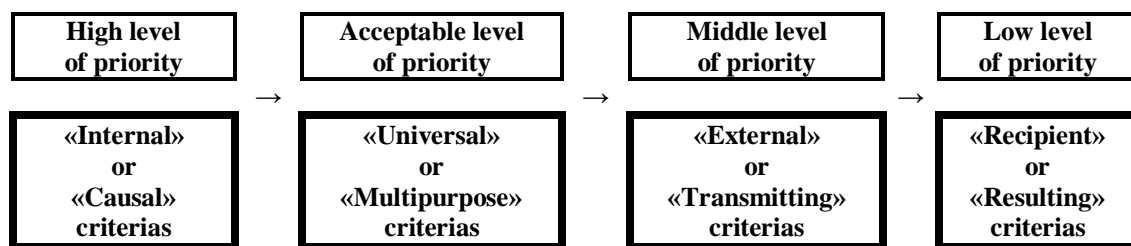


Figure 2 – Priority of application of criterial apparatuses in descending order for the case PP of special purpose, namely fire, emergency and rescue technique which equipped with PICE

Wherein before tuning of settings of mathematical apparatuses of «universal» criterias (as more perspective and flexible) it should be estimated individual aspects of mathematical apparatus of «internal» criterias (as more priority) and to adjust methodic of its application for cases of new and already existing models of PICE of special technique and aggregates of systems for pollutant neutralization in EG flow, as it shown in studies [14, 15].

In connection with worded above it should be selected priority of application between two «internal» criterial apparatuses, presented in figure 1, namely Parsadanov complex fuel and ecological criteria K_{FE} and Kanilo integral index of ecological and chemical evaluation F .

Analysis of their mathematical apparatuses makes it possible to recommend the use of criteria K_{FE} as one that, as opposed to criteria F , operates only with set of initial data, requirements to which are legislative normalized in Ukraine (UNECE Regulations # 49 and # 96 [16, 17]) and their list is a complete set.

In addition, of the two compared criterial apparatuses only Parsadanov criteria K_{FE} has the physical meaning, namely middle exploitation value of PICE effective efficiency coefficient with taking into account monetary costs for compensation of ecological damage from pollution of environment by legislative normalized pollutants in EG flow. In case of PICE with ideal ecological indicators, that is with zero emissions of pollutants, value of the criteria equal to middle exploitation value of PICE effective efficiency coefficient η_{eme} . In connection with this it can be argued, that its mathematical apparatuses contains internal scale and comparison of obtained results of calculation assessment with the scale is performed automatically, which favorably distinguishes the criteria from number of other «internal». In addition, this scale only one reference point, namely value of coefficient

η_{eme} , which not associated with legislative normalized parameters and also value of that reference point is different for various types and models of PICE. From number of «universal» criterial apparatuses such attribute has the Harrington desirability function D , but its internal scale is much more flexible and can contain any two reference point for any influencing factor.

Important is the fact that only mathematical apparatus of criteria K_{FE} taking into account PICE fuel consumption, namely in form of middle exploitation value of specific effective mass hourly fuel consumption g_{eme} , as well as directly in form of regime values of mass hourly fuel consumption G_f as the measure of regime values of mass hourly emission of legislative normalized pollutants.

But it was detected that recommended above criterial apparatus is deprived of following opportunities:

- taking into account of legislative established standards or other special values of influencing factors;
- obtaining of regime values (gives only middle exploitation values);
- taking into account of wide specter of such factors.

But PICE fuel consumption in form of middle exploitation values of mass hourly fuel consumption G_{fme} (in kg/h) (has extensive influence) as well as in form of middle exploitation value of specific effective mass hourly fuel consumption g_{eme} (in kg/(kW·h)) (has intensive influence) is ambiguously characterized all aspects of ES of accident-free exploitation process of power plants with PICE. Other things being equal when worded above it is shown in the following.

Lets add and clarify the classification of Types of environmental pollution from PICE as part of PP, presented in article [1] (figure 3), extended to the case of accident-free exploitation process.

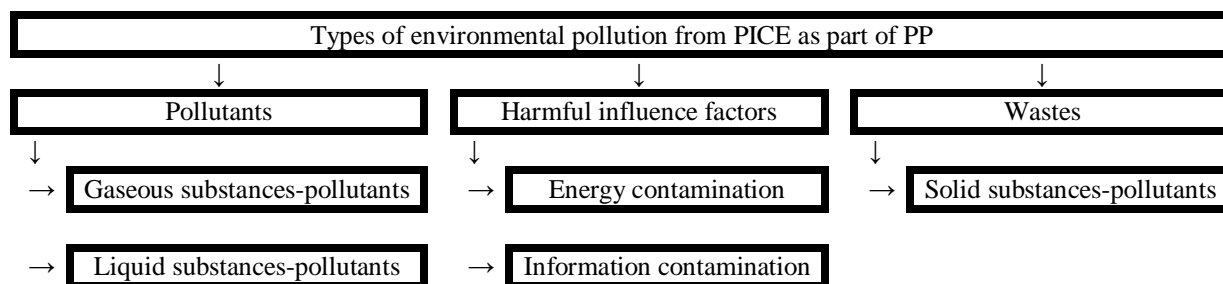


Figure 3 – Classification of Types of environmental pollution from PICE as part of PP [1]

1. Motor fuel of oil origin is non renewable source of energy so the lower the value of G_{fme} and the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process in global scale [1, 3].

2. The source of some types of legislative normalized pollutants in EG flow, namely products of uncompleted combustion, namely unburned gaseous hydrocarbons of motor fuel and oil C_nH_m , carbon monoxide CO , particulate matter PM, are exothermal oxidation-reduction reactions of fuel combustion. That's why the more fully they occurs (what means that lower value of G_{fme} and the value of g_{eme}), than higher the level of ES of the process [1, 3, 16, 17].

3. Motor fuel contains atomic and bound sulfur, amount of which is limited by relevance normative documents [18]. That means what mass hourly emission of sulfur oxides SO_x in EG flow also is legislative normalized pollutant albeit indirectly. That's why the lower the value of G_{fme} than lower emission of this pollutant and higher the level of ES of the process [1]. Value of g_{eme} has influence on ratio between SO_x and other sulfur compounds in EG flow shifting the balance aside SO_x .

4. PICE of traditional construction with crankshaft mechanism are powerful sources of noise and vibrations (factors of external imbalance) [1], the intensity of which is higher the greater indicator power produced the PICE during its operation. Both of the ES factors inherently are dissipative processes. That's why the lower the value of G_{fme} and the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process.

5. Any PICE is heat machine and all energy that released during combustion process in operation process in one way or another eventually converts into heat energy and transmitted to environment and is a part of its heat pollution [1]. Potentially contained in consumed motor fuel chemical energy can be divided into shortfall (from imperfections of operational process), mechanical loses (from imperfections of PICE construction and necessity of insuring of performance of operational process) and useful (transmitted to the consumer). The consumer spends effective power obtained from PICE for overcoming of dissipative forces (mainly frictional forces) as well during execution of functions assigned to it (mechanical work) as for overcoming of imperfections of they construction. Ratio between the first two and the third components of energetic balance characterized by value of g_{eme} , ratio between the first one and the second one – indicators of toxicity of EG, and also value of G_{fme} characterize of absolute value of heat pollution of environment. However, effective power firstly spent for performance of useful work and only after that inevitable converts into heat. That's why the lower the value of G_{fme} and the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process.

6. Motor fuel that exposed to catalytic reforming contains non directly normalized potentially harmful

components, namely polycyclic aromatic hydrocarbons (for example, benz(a)piren) and additives with heavy metal compounds (for example, tetraethyl lead, which completely banned by modern normative documents) [4]. Also with mass hourly fuel consumption relates the PICE motor oil consumption for waste with heavy metal compounds. It happens because motor oil falls into combustion chamber of PICE and for some types of PICE it is component of motor fuel, like in PICE with crank-chamber blowdown. That's why the lower the value of G_{fme} and the value of g_{eme} than lower value of mass hourly emission of unburned hydrocarbons in EG flow and accordantly higher the level of ES of the process [1]. The correlation between the value of g_{eme} and the emission of heavy metal compounds and other nonnormable directly harmful components of EG was not detected.

7. Motor fuel and oil contains nitrogen-containing additions which during combustion process with air nitrogen generates nitrogen oxides NO_x , that also are legislative normalized pollutants [1, 3, 16, 17]. The better organized the PICE operation process than higher the temperature in combustion chamber and accordingly higher mass hourly emission of NO_x in EG flow (it value not equal zero even when worsening the PICE operation process). That's why the lower the value of G_{fme} and the higher the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process.

8. To the number of products of complete combustion of motor fuel include water H_2O and carbon dioxide CO_2 . The second one is product of exothermic oxidation-reduction reactions and presents the greenhouse gas and contributes to global warming on Earth. Emissions of CO_2 by the certain country should not exceed quotas which established by Kyoto Protocol [1, 19]. That's means that CO_2 is legislative normalized pollutant although indirectly. That's why the better and more efficient the fuel burns in combustion chamber, that is the lower the value of G_{fme} and the higher the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process.

9. Well-known is that fact that any vehicle with PICE consuming liquid motor fuel pollutes of environment by vapor of that fuel because effects of large and small reservoir breathing. In that way is manifested such type of ES factors as pollution of environment by liquid matters-pollutants [1] during accident-free exploitation process of unit of special purpose technique. The larger value of PICE fuel consumption and the less efficient of its burning than with more larger fuel tank it equips and more often happens full exhaustion of fuel from the tank and accordantly full fuelling of tank what increase the effect of large breathing of reservoir. In the same conditions at large amplitude of changes of daily environmental air temperature also can observes intensification of effect of small breathing of reservoir. That's why the lower the value of G_{fme} and the lower the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process.

10. During its operation PICE produced so called carter gases that consists of vapors of motor fuel and oil, fine drops of liquid unburned fuel, air of fresh charge, exhaust gases, which falls in motor oil through gaps between pistons and cylinder liners, drops of liquid motor oil as product of lubrication by spreading process [1]. Carter gases produce an overpressure in internal cavities of PICE carter and pallet and so periodically discharged into environment. From dispersed phase of aerosol of carter gases, namely drops of motor oil fog, they purification caring out by PICE system. Dispersion medium of aerosol of carter gases, namely the mixture of counted above gases, in PICE with no system of neutralization of pollutants in EG flow also not purify from its harmful components. That's why the lower the value of G_{fme} and the lower the value of g_{eme} (in units of PICE which not yet reached the limit condition due to physical wear) than higher the level of ES of the process.

11. Operation of PICE of modern construction controls electronic automatic control systems that consists of source of electric energy (generator and accumulator), sensors, electronic control unit, actuators and wires. Some types of PICE have an ignition system which consists of circuits of high and low voltage. Both of these systems are sources of electromagnetic pollution of environment. That's why the higher the value of G_{fme} than more intensive operates that systems and the lower the value of g_{eme} than with more efficiency they and PICE as a whole operates. That's why the lower the value of G_{fme} and the lower the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process.

12. The above systems are powerful sources of informational pollution of environment especially when uses an wireless interfaces for transmitting of data. That's why the lower the value of G_{fme} than more intensive operates that systems and the lower the value of g_{eme} than with more efficiency they and PICE as a whole operates. That's why the lower the value of G_{fme} and the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process.

13. The more intensive operates the PICE and more it consumes the motor fuel per unit of time G_{fme} than faster it will run out its physical resource. The more effective it uses consumed fuel g_{eme} than less often it needs for technical maintenance and repair with taking into account that event of failure is random. In case of reaching of limit condition it needs for capital repair or utilization that accompanied by pollution of environment with solid substances-pollutants (wastes), that is parts. That's why the lower the value of G_{fme} and the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process.

14. Worded above equally applies to pollution of environment by PICE with liquid substances-pollutants, namely waste technical liquids. That's why the lower

the value of G_{fme} and the value of g_{eme} than higher the level of ES of the process.

Presented above considerations about character of correlation between ES factors and influencing on they factors are summarized in table 1.

It should be noted that from number of presented in figure 1 criterial apparatuses only mathematical apparatus of Parsadanov complex fuel and ecological criteria takes into account PICE fuel consumption both in the form of mass hourly G_{fme} and in the form of specific effective mass hourly fuel g_{eme} .

The current version of Road Safety Rules (RSR) of Ukraine [20] in the section 31 «Technical condition of vehicles and they equipment» in paragraph 31.1 defines the following: «The technical condition of vehicles and they equipment should comply with requirements of standards relating to safety of road traffic and protection of environment and also rules of technical exploitation, instructions of manufacturing companies and other normative technical documents». Paragraph 31.4 contain following: «It is prohibited of exploitation of vehicles in accordance with legislation with presents of following technical faults and non-compliance with following requirements» and gives the list of such malfunctions in according subparagraphs. Thus, in subparagraph 31.4.6 «Engine» it is indicated that «a) containing of harmful substances in exhaust gases or its smokiness exceeds the standard established norms; b) leaky fuel system; c) defective exhaust system». Paragraph 31.5 contain following: «In case of occurrence during road driving of malfunctions which are listed in paragraph 31.4 of the Rules the driver must take measures to eliminate them and if this can not be done, then drives as short way as it possible to place of parking or repair. ... In case of occurrence during road driving of malfunctions which are listed in paragraph 31.4.7 of the Rules ... following driving is prohibited until removing of them ...».

That is in RSR concept of «exploitation process of vehicle» has nothing to do with fact of possibility of its independent movement but only in sum with fact of being it in technical condition. Vehicles which due its technical conditions violates the requirements of paragraph 31.4 of RSR and all the more so emergency out of order independently from presents of fact of technical or actually ability of movement does not think so that are in exploitation process.

Also it can be conclude that vehicles which are in condition of technical maintenance or repair also does not think so that are in exploitation process.

Therefore in table 1 presents results of analysis of influence of PICE fuel consumption on values of ES factors only in that part which characterized of non-accident exploitation process.

One of the directions of following studies is qualitative and quantitative gradation of ES factors in its full set, presented in table 1.

Table 1 – Influence of PICE fuel consumption on different components of ES level of accident-free exploitation process of PP (vehicles and technique) of special purpose

№	Ecological safety factor	Influencing factor		
		G_{fme}	g_{eme}	η_{eme}
		kg/h	kg/(kW·h)	–
		Character of correlation*		
1	Consumption of non renewable source of energy	+	+	–
2	Emission of legislative normalized gaseous substances-pollutants, namely products of uncompleted combustion of motor fuel, in aerosol of EG flow (C_nH_m , CO , PM)	+	+	–
3	Emission of indirectly legislative normalized pollutants, namely sulfur oxides in aerosol of EG flow (SO_x)	+	–	+
4	Pollution of environment by noise and vibrations	+	+	–
5	Pollution of environment by heat	+	+	–
6	Emission of PAH and heavy metal compounds in aerosol of EG flow (benz(a)piren, TEL)	+	+	–
7	Emission of legislative normalized gaseous substances-pollutants, namely products of completed combustion of motor fuel, in aerosol of EG flow (NO_x)	+	–	+
8	Emission of indirectly legislative normalized pollutants, namely greenhouse gases, in aerosol of EG flow (CO_2)	+	–	+
9	Emission of vapors of motor fuel and oil due to effects of large and small breathing of fuel reservoirs	+	+	–
10	Emission of aerosol of carter gases	+	+	–
11	Pollution of environment by electromagnetic fields	+	+	–
12	Pollution of environment by information	+	+	–
13	Pollution of environment by solid substances-pollutants (wastes)	+	+	–
14	Pollution of environment by liquid substances-pollutants	+	+	–

*Notation: mark «+» means that increasing of value of influencing factor causing the increasing of value of ES factor; mark «-» – vice versa, causing the decreasing of value of ES factor.

Conclusions. Thus, in present study describes the results of selection of mathematical apparatuses for complex calculated criterial assessment of ES level of exploitation process of PP of special purpose, namely units of fire, emergency and rescue technique with PICE based on analysis of well-known.

Proposed the classification of such mathematical apparatuses which most appropriate for object of assessment by the type of set of initial data into «internal», «external», «recipient» and «universal».

Was made the analysis of advantages and disadvantages of such apparatuses and their application methodics. It was detected that no one of studied criterial apparatuses is not taking into account of full set of ES factors of exploitation process of assessed objects.

Grounded of priority of application of different types of such apparatuses. As the priority recognized «internal» criterial apparatuses.

Grounded of recommendation of application of the most preferable criterial apparatus from the number of priority – Parsadanov complex fuel and ecological criteria as the one that operates with whole set of legislative normalized ES factors, has physical meaning, takes into account the PICE fuel consumption, has internal scale.

Detected the limitations for application of concept «accident-free exploitation process».

Analyzed the influence of PICE fuel consumption on ES factors of accident-free exploitation process of assessed objects.

Detected that recommended criterial apparatus deprived of the opportunity to consider of established norms for accounted factors, obtaining of they regime values and also accounting of more wide specter of ES factors.

REFERENCES

1. Сучасні способи підвищення екологічної безпеки експлуатації енергетичних установок [Текст]: моногр. / С. О. Вамболь, О. П. Строков, В. В. Вамболь, О. М. Кондратенко. – Х.: НУЦЗ України, 2015. – 212 с. – Режим доступу: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3529>.
2. Scientific and practical problems of application of ecological safety management systems in technics and technologies [Text]: monograph / S. O. Vambol, V. V. Vambol, Y. O. Suchikova et al. – Opole: Academy of Management and Administration in Opole, 2017. – 205 p. – Available: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3530>.

3. Парсаданов, І. В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію [Текст]: моногр. / І. В. Парсаданов. – Х.: Центр НТУ «ХП», 2003. – 244 с.
4. Каніло, П. М. Автомобіль та навколишнє середовище [Текст] / П. М. Каніло, І. С. Бей, О. І. Ровенський. – Х.: Прапор, 2000. – 304 с.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86 / ЛЭПТ. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
6. Air Quality Index (AQI) Basis. EPA official website [Electronic resource]. – Available: <https://airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi>.
7. Weißbach, D. Energy intensities, EROIs (energy returned on invested), and energy payback times of electricity generating power plants [Text] / D. Weißbach, G. Ruprecht, A. Huke et al. // *Energy: The International Journal*. – Amsterdam, Elsevier, 2013. – Vol. 52. – P. 201–221. – Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213000492>.
8. Пичкалев, А. В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств [Текст] / А. В. Пичкалев // *Исследования наукограда. – Железнодорожск: Национальная информационная спутниковая система*, 2012. – № 1. – С. 25–28. – Режим доступа: <http://www.journalniss.ru/journal/archive/01/paper6.pdf>.
9. Шмандий, В. М. Методологические подходы к анализу влияния экологической опасности на состояние здоровья населения в регионе [Текст] / В. М. Шмандий, Е. В. Харламова, Т. Е. Ригас // *Здоровье и образование в XXI веке: электр. науч.-образоват. вестник*. – М.: ИПК РУДН, 2016. – Т. 18. – № 2. – С. 54–57.
10. Шмандий, В. М. Управление экологической безопасностью в регионе: антропоцентрические аспекты [Текст]: моногр. / В. М. Шмандий, Е. В. Харламова, Т. Е. Ригас. – Гамбург: Lambert Academic Publ., 2014. – 78 с.
11. Парсаданов, І. В. Многофакторный анализ механических потерь в быстроходном дизеле с газотурбинным наддувом [Текст] / І. В. Парсаданов, С. Ю. Белик // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2008. – № 1. – С. 34–37.
12. Математична модель ефективності роботи фільтра твердих частинок дизеля [Текст] / О. М. Кондратенко, О. П. Строков, С. О. Вамболь, А. М. Авраменко // *Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ*, 2015. – № 6 (150). – С. 55–61. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2227>.
13. Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arrangement of pollutants neutralization system [Text] / S. Vambol, V. Vambol, O. Kondratenko et al. // *East-European Journal of Enterprise Technologies*. – Kh.: USURT, 2017. – № 3/10 (87). – P. 63–73. – Available: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3423>.
14. Vambol, S. Results of complex criterial fuel and ecological assessment of diesel engine 2Ch10.5/12 for emergency and rescue power plants [Текст] / S. O. Vambol, O. M. Kondratenko // *Техногенно-екологічна безпека*. – Х.: НУЦЗ України, 2017. – Вип. 1. – С. 32–38. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2269>.
15. Vambol, S. Calculated substantiation of choice of units of monetary equivalents of complex fuel and ecological criteria components [Текст] / S. O. Vambol, O. M. Kondratenko // *Техногенно-екологічна безпека*. – Х.: НУЦЗ України, 2017. – Вип. 2. – С. 53–60. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2275>.
16. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positive-ignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine: regulation United Nations Economic and Social Council Economics Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles of 26 January 2013 year Regulation No. 49, Revision 6 [Electronic recourse]. – Geneva: UNECE, 2013. – 194 p. – Available: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R049r6e.pdf>.
17. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines to be installed in agricultural and forestry tractors with the regard to the emissions of pollutants by the engine: Regulation № 96, Revision 2, 26 July 2012 [Electronic recourse]. – Geneva: UNECE, 2012. – 370 p. – Available: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R096r2e.pdf>.
18. ДСТУ 4840:2007. Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови. – Чинний з 2016-12-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 16 с.
19. Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change [Electronic resource]. – United Nations, 1998. – 20 p. – Available: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.
20. Правила дорожнього руху України: затв. пост. КМ України № 1306 від 10.10.2001, введ. у дію з 01.01.2002, зі змін. і доп. згідно до пост. КМ України № 869 від 21.10.2015. – К.: Арій, 2016. – 48 с.

Стаття надійшла до редакції 14.10.2017 р.

О. М. Кондратенко

ВИБІР КРИТЕРІАЛЬНОГО АПАРАТУ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

У статті описані результати вибору математичного апарату для комплексного розрахункового критеріального оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергетичних установок, оснащених поршневим двигуном внутрішнього згорання, на основі аналізу відомих. Запропоновано класифікацію таких математичних апаратів, найбільш придатних для об'єкта оцінювання, за видом набору використовуваних вихідних даних. Проведено аналіз переваг і недоліків таких апаратів та методик їх застосування. Обґрунтовано пріоритетність використання типів таких апаратів. Обґрунтована рекомендація щодо використання комплексного паливно-екологічного критерію проф. Парсаданова як єдиного, який оперує повним набором законодавчо нормованих факторів екологічної безпеки, має фізичний зміст і враховує витрати палива двигуном. Визначено обмеження на застосування поняття «безаварійна експлуатація». Проаналізовано вплив витрати палива двигуном на фактори екологічної безпеки процесу безаварійної експлуатації оцінюваних об'єктів. Виявлено, що рекомендований критеріальний апарат позбавлений можливості враховувати встановлені нормативи факторів, що враховуються, отримання їх порежимних значень, а також врахування їх більш широкого спектра.

Ключові слова: техногенно-екологічна безпека, комплексне критеріальне оцінювання, енергетична установка, двигун.

А. Н. Кондратенко

ВЫБОР КРИТЕРИАЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В статье описаны результаты выбора математического аппарата для комплексного расчетного критериального оценивания уровня экологической безопасности процесса эксплуатации энергетических установок, оснащенных поршневым двигателем внутреннего сгорания, на основе анализа известных. Предложена классификация таких математических аппаратов, наиболее подходящих для объекта оценивания, по виду набора используемых исходных данных. Проведен анализ преимуществ и недостатков таких аппаратов и методик их применения. Обоснована приоритетность использования типов таких аппаратов. Обоснована рекомендация по использованию комплексного топливно-экологического критерия проф. Парсаданова как единственного, который оперирует полным набором законодательно нормированных факторов экологической безопасности, имеет физический смысл и учитывает расход топлива двигателем. Определены ограничения на применение понятия «безаварийная эксплуатация». Проанализировано влияние расхода топлива двигателем на факторы экологической безопасности процесса безаварийной эксплуатации оцениваемых объектов. Выведено, что рекомендуемый критериальный аппарат лишен возможности учитывать установленные нормативы учитываемых факторов, получать их порежимные значения, а также учета их более широкого спектра.

Ключевые слова: техногенно-экологическая безопасность, комплексное критериальное оценивание, энергетическая установка, двигатель.

УДК 628.54

А. М. Демків, нач. наук. від.

В. Л. Сидоренко, к. т. н., доц., проф. каф.

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту
вул. Вишгородська, 21, м. Київ, Україна, 04074

С. І. Азаров, д. т. н., ст. наук. співр., провід. наук. співр.

Інститут ядерних досліджень НАН України
пр. Науки, 47, м. Київ, Україна, 03680

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ТОКСИЧНИХ СПОЛУК В ПРОЦЕСІ ЗГОРЯННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Приведено оцінку лабораторних досліджень кількісних та якісних показників токсичних сполук в процесі згоряння твердих побутових відходів. Надано принципову схему установки для аналізу проб продуктів згоряння при спалюванні зразків твердих побутових відходів. Зроблено висновки про те, що достовірна оцінка небезпечних ситуацій у разі пожеж на полігонах твердих побутових відходів та прогнозування їх розвитку можуть бути забезпечені у разі використання експериментальних лабораторних досліджень для отримання достовірних даних. Запропоновані методи визначення пожежно-технічних характеристик горючих матеріалів твердих побутових відходів під час пожеж, відповідних методик виконання вимірювань та сучасного аналітичного обладнання дозволили одержати високоточні вихідні дані, що характеризують концентрацію та склад димових частинок, дисперсний склад як функцію розподілу за розміром аерозолів та аеродинамічним діаметром. За проведеними розрахунками побудовано графіки емісії важких металів в атмосферу та їх вміст в золі при спалюванні брикетів твердих побутових відходів, а також швидкості випадіння у повітрі димових частинок з різною густиною.

Ключові слова: тверді побутові відходи, продукти згоряння, токсичні сполуки, лабораторні дослідження.

Постановка проблеми. Одною з актуальних проблем є контроль за викидами продуктів згоряння в атмосферу під час пожежі на полігоні твердих побутових відходів (ТПВ). Димові гази являють собою складну багатокомпонентну суміш, у складі якої ідентифіковано і кількісно визначено 27 інгредієнтів [1]. Особливо небезпечні пожежі на звалищах, де токсичні сполуки переносяться в навколишнє середовище взагалі без газоочищення, а птахи переносять отруєні продукти розкладання. Цим, мабуть, і пояснюється розповсюдження захворювань в Україні. При згорянні 1 т ТПВ утворюється 4–8 тис. м³ димових газів, що містять оксиди азоту і сірки, хлороводень та поліароматичні вуглеводні, хлорбензоли і важкі метали (ртуть, вісмут, свинець, кадмій, мідь та ін.). Крім того, залишається 25...40 % шлаку і золи, що містять ті ж самі токсичні речовини. Димові гази, що викидаються в атмосферу, є складною багатокомпонентною сумішшю, в склад якої входять оксиди сірки, азоту, вуглецю, альдегіди, кетони, граничні вуглеводні парафінового ряду, циклопарафіни, циклічні ароматичні вуглеводні, в тому числі канцерогенні, а також важкі метали. За даними [2, 3], при згоранні ТПВ в газоподібний стан переходять 72...95 % ртуті, 85 % хлору, 75 % миш'яку, 38 % фтору, 5...33 % свинцю, 4...27 % цинку, 1...7 % міді, 7 % нікелю, 6 % хрому і 0,02 % заліза, що містяться в спалюваних відходах. Згоряння ТПВ у разі наявності в них хлороорганічних сполук (пластмас) супроводжується утворенням і викидом в атмосферу великої кількості високо-токсичних сполук з групи діоксинів та фуранів (від

~11 до ~20 мас. % від їх загальної кількості) [4]. Викиди токсичних сполук несприятливо впливають на атмосферне середовище в зоні радіусом 500...1000 м. Згоряння органічних фракцій при нестачі кисню призводить до утворення канцерогенних поліароматичних вуглеводнів та інших небезпечних речовин (аміак, діоксини, фенол, бензол, органо-мінеральних з'єднання тощо), концентрації деяких з них в атмосферному повітрі значно перевищують ГДК: метан – у 8500 разів, метилбензол – у 1025, кумол – у 2285, хлороформ – в 66, хлоретан – в 1320, діхлоретан – в 98, тетрахлоретан – в 2367, сірководень – в 25 тис. разів [4]. В продуктах згоряння відходів, вміст важких металів в деяких випадках в тисячі разів більше, ніж в «звичайному» вигляді. При цьому, важкі метали як і тверді залишки горіння, можуть зберігатися довгі роки, накопичуючись в донних відкладеннях, в ґрунтах і з пилом потрапляти в організм людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальні теоретично-методичні питання щодо поводження з ТПВ розроблялися в роботах І. Л. Абалкіна, Б. Б. Бобовича, В. Н. Виниченка, А. С. Гриніна, П. В. Даруліса, В. В. Девяткіна, В. Б. Жуковицького, В. М. Новікова, С. Юфіта та багатьох інших.

Переважна частина досліджень спрямовано на визначення доцільних, безпечних та економічно вигідних способів і методів сортування, обробки, переробки, утилізації, знешкодження, очищення або захоронення ТПВ, а також попередження виникнення пожеж на полігонах ТПВ, але проблематикою забруднення повітря та його

впливом на довкілля у разі пожежі на сховищі ТПВ приділяється недостатньо уваги. Так, наприклад, наразі в нашій державі відсутні дані щодо лабораторних досліджень на сучасних високоточних установках складу викидів токсичних сполук у процесі згоряння ТПВ з метою отримання їх кількісних та якісних показників.

Постановка завдання та його вирішення.

Актуальною є задача оцінки кількісних та якісних показників токсичних сполук в процесі згоряння ТПВ.

За морфологічною ознакою відходи поділяються на компоненти: папір, картон, харчові відходи, дерево, метал (чорний і кольоровий), текстиль, кістки, скло, шкіру, гуму, камені, полімерні матеріали, інші (не класифікуються фракції), відсів (менш 15 мм). Середній склад вітчизняного побутового сміття, як показав аналіз, має деяку відмінність від складу сміття інших країн. Так, в ньому великий вміст будівельного сміття (~10 %) і підвищена частка харчових відходів. Зустрічається на міському звалищі і промислове сміття. Склад сміття, зрозуміло, має значні сезонні і локальні коливання, але в середньому він складається з наступних компонентів (таблиця 1).

Аналіз вмісту важких металів у ТПВ проводили за допомогою приладу «ИТ-118» за стандартними методиками. Умови і результати досліджень надано у таблиці 2.

Таблиця 1 – Морфологічний усереднений склад ТПВ (вміст в % маси)

Компонент	Мас. %
Харчові відходи	35...45
Папір, картон	33...40
Чорний метал	3,0...4,9
Кольоровий метал	0,5...1,6
Текстиль	3,3...5,7
Кістки	0,5...1
Скло	2,6...4,9
Шкіра, гума	0,5...1,5
Пластмаси	4,1...6,7
Дерево	1,0...5,5
Каміння, штукатурка	0,5...1,0
Інше	1,5...2,0
Відсів (менш 15 мм)	5,0...7,0

Таблиця 2 – Вміст важких металів в ТПВ

Компонет	Вміст метала, мг/кг						
	Pb	Ni	Cr	Cu	Zn	Hg	Co
ТБО	500	150	200	1300	2400	1,0	3,0

Нами досліджені властивості паливних брикетів на основі ТПВ та продукти їх спалювання. Брикети масою 10 г отримували пресуванням. Спалювання проб здійснювали в діапазоні від 1000 до 23000 К на лабораторній установці, що складається з печі, реакційної судини, термоду, збірки конденсату і збірки газів, що відходять (рисунк 1).

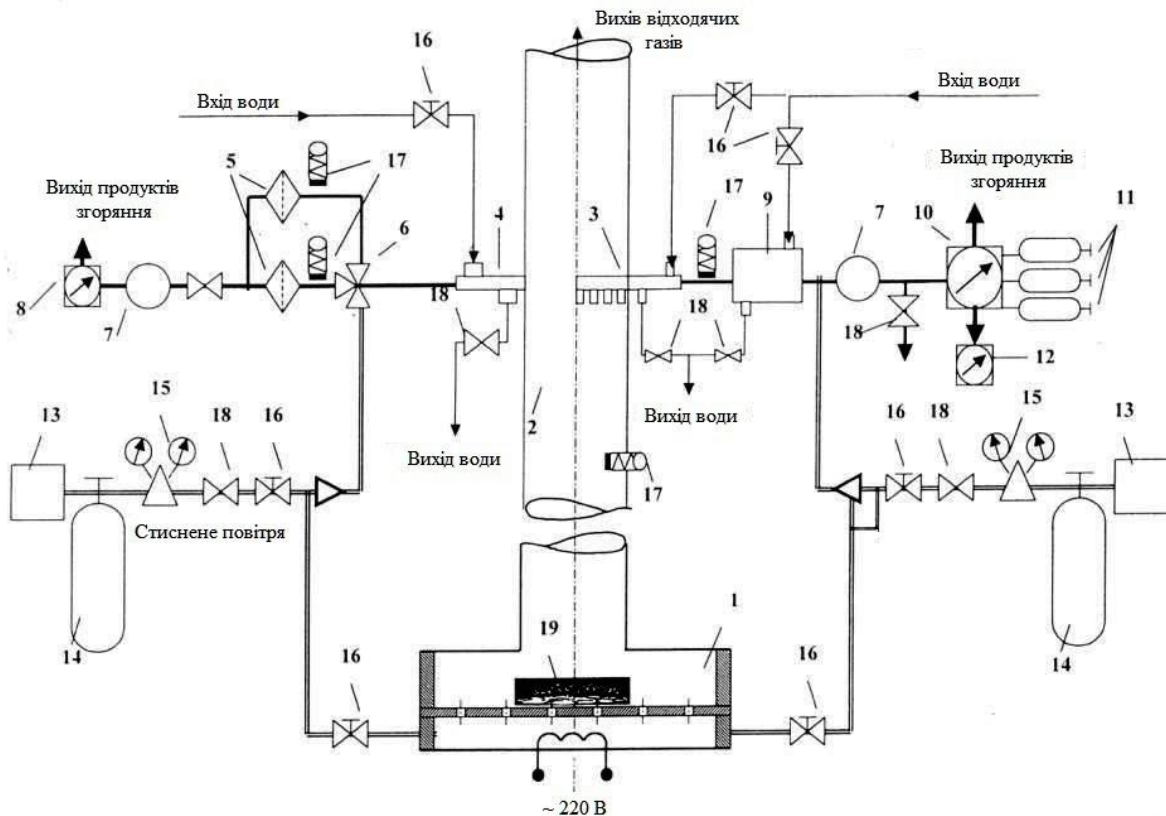


Рисунок 1 – Принципова схема установки для аналізу проб продуктів згоряння при спалюванні зразків ТПВ

Установка складалася з печі для спалювання зразків ТПВ (1), випускної труби (2), інтегрального газовідбірника (3) і газовідбірника аерозолів (4), фільтроутримувача (5), трипозиційного крана (6), насоса спонукача відхідних газів (7), лічильника відхідних газів (8), водяного холодильника конденсатозбірника в магістралі подачі проб вихідного газу (9), газоаналітичного вимірювального комплексу (10), балонів з повірочними газовими сумішами (11), балона з нульовим газом (12), повітряного компресора (13), балона зі стисненим повітрям (14), манометра (15), вентиля регулюючого (16), термометри опору (17), клапана (18) і спалюваного зразка ТПВ (19).

Установка дозволяла проводити вимірювання у двох режимах: відбору та аналізу продуктів згорання (вимірювальний стенд, розташований праворуч), а також для відбору та аналізу масової концентрації твердих частинок – (вимірювальний стенд, розташований зліва).

Основний спосіб відбирання проб з досліджуваних продуктів згорання – пропускання їх через сорбційний пристрій (фільтр) за допомогою спонукача витрати з певною температурою і швидкістю, яку реєструють термометр опору і витратомірний пристрій (ротаметр).

Аналіз газових проб виконували інфрачервоним

багатоканалним газоаналізатором 325ФА01 (похибка вимірювань $\pm 10\%$), за допомогою якого вимірювалася концентрація CO (0...0,5%), CO₂ (0...15%), CH₄ (0...2,0 мг/м³). Особливістю газоаналізатора 325ФА01 є оригінальна оптична схема із застосуванням оптичного нульового (реперного) каналу, а також багатоканалний інфрачервоний газоаналізатор «СПЕКР-4» (похибка вимірювання $\pm 20\%$), в якому реалізована багато-канална кювета для одночасного вимірювання концентрації H₂S (0...0,5 г/м³), NO (0...5,0 г/м³), NO₂ (0...0,5 г/м³), SO₂ (0...0,5 г/м³ та ін.) [5].

В процесі проведення випробувань температура проб у системі відбору газів (перед фільтротримачем і вимірювальним комплексом) підтримувалася на рівні 325 К або нижче, за умови відсутності конденсації пари води. Як сита використовувалися фільтри Петрянова типу АФА-РМЛ-2.

Для зважування фільтрів (до проведення випробувань і після фільтрації твердих частинок) використовувалися ваги. Зважування фільтрів (після їх витримки в ексикаторі) проводилося при температурі повітря 293–305 К і відносній вологості 35...55%. Похибка вимірювання об'єму відхідних газів, що пропускаються через фільтр, складала $\pm 2,5\%$. Типовий склад компонентів при спалюванні ТПВ наведено в таблиці 3 і 4.

Таблиця 3 – Емісія газів при спалюванні паливних брикетів ТПВ

Температура спалювання, К	Концентрація компонента в газових викидах, мг/м ³								
	CO	CO ₂	SO ₂	H ₂ S	C ₆ H ₅ OH	NO ₂	HCL	HCN	CH ₂ O
1000	680	203000	8,79	13,67	5,78	41	0,38	0,27	19,8
1300	430	319000	12,06	6,34	3,35	98	0,26	0,18	10,2
1800	210	743000	16,52	2,71	1,94	182	0,14	0,12	5,3
2100	50	896000	19,74	0,2	0,3	234	0,02	0,01	0,8

Таблиця 4 – Склад компонентів при спалюванні ТПВ

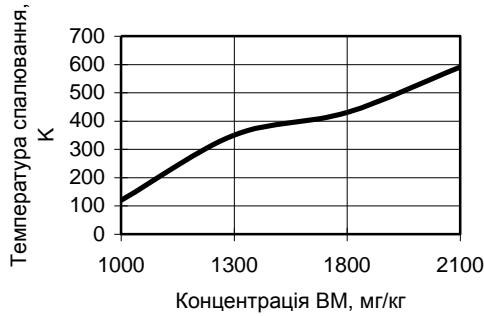
Компонент	Концентрація, г/м ³		Індекс токсичності, $T=C/(ПДК_{м,р})$	
	середня	максимальна	середній	максимальний
Оксид вуглецю	0,31	2,94	120	560
Оксид азоту	0,15	0,18	1650	1880
Діоксид сірки	0,02	0,09	40	190
Бензол	1,38	3,26	880	2000
Толуол	1,83	6,73	3100	6000
Ацетон	0,93	1,87	2000	2290
Тверді частинки	–	0,09	–	370
Хлормісткі (НСІ)	0,39	0,67	1930	3220
Фтормісткі (HF)	0,004	0,01	190	250

Концентрації речовин, які виявлені у викидах (див. таблицю 4), перевищують відповідні нормативи для атмосферного повітря: по зважених речовинах – в 2,2...3,2 рази, по хлористому водню – в 2,7...3,0 рази, по фтористому водню – в 1,9...4,8 рази, по формальдегіду – в 1,7 рази, по бензапірену – в 7 разів, по двоокису азоту – в 1,5 рази [1].

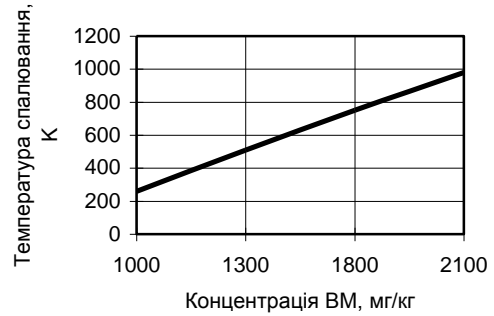
Експериментально було встановлено, що ТПВ мають низьку теплопровідність. Питома теплота згорання їх становила 1480 ккал/кг.

На рисунку 2 наведено дані щодо емісії важких металів (ВМ) в атмосферу (А) та їх вміст в золі при спалюванні брикетів ТПВ (Б).

В процесі проведення досліджень було вивчено вплив супутніх компонентів, обрані оптимальні умови аналізу, встановлена правильність визначення методом стандартних добавок, проведена метрологічна атестація.



А



Б

Рисунок 2 – Емісія важких металів в атмосферу (А) та їх вміст в золі (Б) при спалюванні брикетів ТПВ

Процес вигорання зразків описували рівнянням:

$$\frac{dm}{dt} = -K_B F, \quad (1)$$

де m – маса зразка, кг; K_B – коефіцієнт масової швидкості вигорання, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$; F – поверхня зразка, м^2 ; τ – час, хв. Тут $F=6(m/\rho_0)^{2/3}$, де ρ_0 – густина зразка, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Інтегруючи рівняння (1), визначали час згорання зразка:

$$\tau = \frac{m_0^{1/3}}{6K_B \rho^{2/3}} [1 - b(\tau)_{1/3}]^3, \quad (2)$$

де $b(\tau) = m(\tau)/m_0$; m_0 – початкова маса зразка, кг; $m(\tau)$ – маса зразка через проміжок часу τ , кг.

У таблиці 5 представлені піротехнічні характеристики зразків ТПВ для вологості 30...40 % та різної кількості горючого матеріалу.

Таблиця 5 – Піротехнічні характеристики зразків ТПВ для різної кількості горючого матеріалу

Кількість горючого матеріалу, $\text{г}/\text{см}^3$	Коефіцієнт масової швидкості вигорання (K_B), $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв.})$	Тривалість горіння, τ , хв.	Максимальна температура, T_{max} , К
2,0...0,01	0,81	30	1150
5,0...0,2	0,85	62	1170
10,0...1,0	0,89	130	1270
15,0...1,5	0,93	142	1370

Після спалювання зразків проводили дисперсійний аналіз зольного залишку шляхом осадження твердодисперсної фази. Фракції золи виділяли методом седиментографічного аналізу з використанням лабораторних центрифуг.

У таблиці 6 наведено розподіл тяжких металів у зольному залишку залежно від дисперсності зольних частинок.

Таблиця 6 – Розподіл важких металів в зольному залишку в залежності від їх дисперсності для різного виду паливного матеріалу, %

Діаметр зольних частинок, мкм				
< 2,0	< 4,0	< 6,0	< 8,0	< 10,0
45	30	15	12	8

Отримані дані (див. таблицю 6) дозволили розрахувати швидкість вільного осадження крупних частинок золи розміром <10 мкм за законом Стокса:

$$V_{\text{п.с.}} = \frac{gd_z}{18\eta_e} (\rho_z - \rho_e), \quad (3)$$

де d_z – аеродинамічний еквівалент діаметру частинок золи, мкм; η_e – динамічний коефіцієнт в'язкості повітря, $\text{Па}\cdot\text{с}$; g – прискорення вільного падіння частинки золи, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ_z – густина частинки золи, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_e – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Середня швидкість сухого осадження золи складала 0,008 м/с. Інтенсивність осадження частинок диму з атмосфери на ґрунт визначається в основному двома чинниками: «сухим» гравітаційним турбулентним осадженням і вимиванням опадами. Крім того, осадження частинок диму може здійснюватися за рахунок конденсації вологи і завдяки процесам дифузії. У таблиці 7 наведено розподіл частинок диму в залежності від аеродинамічного еквівалентного діаметра для різного виду ТПВ.

Таблиця 7 – Розподіл розмірів леткої золи для різного виду ТПВ, %

Діаметр леткої золи, мкм					
< 1,0	< 2,0	< 3,0	< 4,0	< 5,0	< 6,0
10	25	38	12	10	5

Коефіцієнт утворення летких частинок (аерозолів) визначали за формулою

$$b_{\text{п.с.}} = \frac{m_0 - m_z}{m_0}, \quad (4)$$

де m_z – маса леткої золи, кг.

Розподіл летких частинок продуктів згорання за розмірами задовільно апроксимувати логнормальною функцією виду

$$n(r) = \frac{n_0}{\sqrt{2\pi} \cdot \lg \sigma_g} \exp \left[-\frac{\lg(r/r_0)^2}{2 \lg^2 \sigma_g} \right], \quad (5)$$

де $n(r)$ – число летких частинок продуктів згорання в інтервалі $r, r + dr$; n_0 – інтегральна концентрація летких частинок продуктів згорання, визначена з логнормального розподілу; r_0 – медіанний радіус леткої частинки продуктів згорання, мкм; σ_g – стандартне геометричне відхилення.

Швидкість «сухого» осідання аерозольних частинок різного радіуса ($0,7 \leq r_0 \leq 1,8$ і $13,0 \leq r_0 \leq 2,5\rho$) (мкм) можна визначити за законом Стокса:

$$V = \frac{m_0 g}{6\pi\eta_\beta r_0}, \quad 0,7 \leq r_0 \leq 1,8; \quad (6)$$

$$V = \frac{r_0 g}{36\eta_\beta} (\rho - \rho_0), \quad 13,0 \leq r_0 \leq 2,5\rho; \quad (7)$$

де $\eta_\beta = 1,84 \cdot 10^{-5}$ Па·с – динамічний коефіцієнт в'язкості повітря; $r_0 = 3 \cdot 10^{-10}$ м, $m_0 = 3,6 \cdot 10^{-25}$ кг – радіус та маса димової частинки; $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння; $\rho_\beta = 1,2193$ кг/м³ – густина повітря.

На рисунку 3 надано розраховану за формулою (7) сухого осадження швидкість випадіння димових частинок для різних густин. З нього видно, що частинки з густиною $1,2 \cdot 10^3$ кг/м³ найбільш стійкі у вільній атмосфері і можуть переноситися на великі відстані від джерела пожежі.

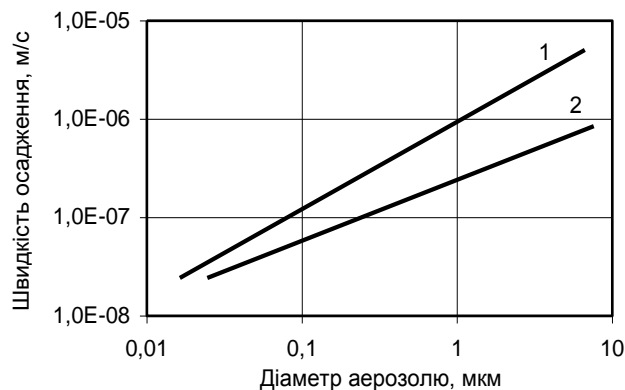


Рисунок 3 – Швидкість випадіння у повітрі димових частинок з різною густиною: 1 – $\rho = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³; 2 – $\rho = 1,2 \cdot 10^3$ кг/м³

Висновки. Таким чином, достовірна оцінка небезпечних ситуацій при пожежах на полігонах ТПВ та прогнозування їх розвитку можуть бути забезпечені у разі використання експериментальних лабораторних досліджень для отримання достовірних даних. Запропоновані методи визначення пожежно-технічних характеристик горючих матеріалів ТПВ під час пожеж, відповідних методик виконання вимірювань та сучасного аналітичного обладнання дозволили одержати високоточні вихідні дані, що характеризують концентрацію та склад димових частинок, дисперсний склад як функцію розподілу за розміром аерозолів, за аеродинамічним діаметром.

Отримані дані дозволять проводити відповідні заходи та надавати конкретні пропозиції і рекомендації щодо політики вирішення зазначеної проблеми з боку центральних і місцевих органів виконавчої влади.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гигиеническая оценка загрязнения атмосферы выбросами мусоросжигательного производства и предложения по ее оздоровлению / Информационное письмо Республиканского центра научной медицинской информации. – К.: Укрмединформ, 1992. – Вып. 4. – 2 с.
2. Лапицкий, В. Н. Экологические последствия термической переработки твердых бытовых отходов [Текст] / В. Н. Лапицкий, Е. А. Борисовская, В. И. Гончаренко // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – К.: Ін-т геохімії навколишнього середовища НАН України, 2010. – Вып. 1. – С. 80–83.
3. Національний план виконання Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі / Проект № GF/2732–03–4668. «Забезпечення заходів з розроблення Національного плану щодо впровадження в Україні Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі». – К., 2006. – 200 с.
4. Крылов, А. И. Определение приоритетных органических токсикантов при санитарно-химической и экологической экспертизах: Методологические подходы и методическое обеспечение [Текст] / А. И. Крылов // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). – 2004. – Т. XLVIII. – № 2. – С. 54.
5. Мовчан, Н. М. Инструментальный контроль выбросов в атмосферу киевского мусоросжигательного завода «Энергия» [Электронный ресурс] / Н. М. Мовчан, З. Д. Безрук, А. А. Дашковский, В. Ф. Примиский // Web-страница 2-й Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – 9–10 февраля 2005 г. – Х., 2005. – Режим доступа: <http://waste.com.ua/cooperation/2005/theses/movchan.html>.

Стаття надійшла до редакції 01.11.2017 р.

A. Demkiy, V. Sydorenko, S. Azarov

LABORATORY STUDIES OF EMISSIONS OF TOXIC COMPOUNDS IN THE PROCESS OF COMBUSTION OF SOLID HOUSEHOLD WASTES

The estimation of laboratory researches of quantitative and qualitative indicators of toxic compounds in the process of combustion of solid domestic wastes is given. A schematic diagram of an installation for analyzing samples of combustion products during the combustion of solid domestic waste samples is presented. It is concluded that a reliable assessment of hazardous situations in case of fires in solid domestic waste landfills and prediction of their development can be ensured by using experimental laboratory studies to obtain reliable data. The proposed methods for determining the fire and technical characteristics of combustible materials of solid domestic waste during fires, the corresponding measurement procedures and modern analytical equipment have made it possible to obtain high-precision initial data characterizing the concentration and composition of the smoke particles, the dispersed composition as a function of the aerosol size distribution and the aerodynamic diameter. According to the calculations, graphs of emission of heavy metals into the atmosphere and their content in the ash during the burning of briquettes of solid domestic waste, as well as the speed of the emission of smoke particles with different densities in the air were constructed.

Keywords: solid household waste, combustion products, toxic compounds, laboratory tests.

А. М. Демкив, В. Л. Сидоренко, С. И. Азаров

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ТОКСИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ СГОРАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Приведена оценка лабораторных исследований количественных и качественных показателей токсичных соединений в процессе сгорания твердых бытовых отходов. Представлена принципиальная схема установки для анализа проб продуктов сгорания при сжигании образцов твердых бытовых отходов. Сделаны выводы о том, что достоверная оценка опасных ситуаций в случае пожаров на полигонах твердых бытовых отходов и прогнозирования их развития могут быть обеспечены при использовании экспериментальных лабораторных исследований для получения достоверных данных. Предложенные методы определения пожарно-технических характеристик горючих материалов твердых бытовых отходов во время пожаров, соответствующих методик проведения измерений и современного аналитического оборудования позволили получить высокоточные исходные данные, характеризующие концентрацию и состав дымовых частиц, дисперсный состав как функцию распределения по размеру аэрозолей и аэродинамическому диаметру. По проведенным расчетам построены графики эмиссии тяжелых металлов в атмосферу и их содержание в золе при сжигании брикетов твердых бытовых отходов, а также скорости выпадения в воздухе дымовых частиц с разной плотностью.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, продукты сгорания, токсические соединения, лабораторные исследования.

УДК 351.861:504.064:614.8

В. В. Тютюник, д. т. н., ст. наук. співр., нач. каф.

В. М. Стрілець, д. т. н., доц., ст. наук. співр.

В. Д. Калугін, д. хім. н., проф., проф. каф.

Ю. В. Захарченко, студентка

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

РОЗВИТОК МЕТОДОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ РІВНЯ НЕБЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

На основі результатів експертної оцінки ступеню впливу структурних підрозділів АТ «Хладпром» на загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування потенційно небезпечного об'єкту (ПНО), сформульовано та запропоновано алгоритм експертно-кластерного підходу для проведення аудиту та незалежної експертизи на усіх рівнях функціонування природно-техногенно-соціальної системи. Реалізація ризико-орієнтованого підходу щодо оцінки рівня ефективності функціонування комплексної чотирьохрівневої системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій різного характеру та забезпечення екологічної безпеки території України проводиться на основі уявлення про локальну територію з динамічними розмірами, які змінюються від розміру елементарної точки простору до розмірів об'єкта, міста, регіону тощо, а також з урахуванням взаємозв'язків між цими рівнями життєдіяльності.

Ключові слова: техногенно-екологічна небезпека, надзвичайні ситуації, локальна територія, експертна оцінка, кластерний аналіз, аудит та експертиза безпеки, ризико-орієнтований підхід.

Постановка проблеми. Актуальність роботи належить до наукового напрямку щодо технічної реалізації в Україні системи заходів з моніторингу передумов виникнення небезпек, попередження та ліквідації впливу небезпечних факторів на процес життєдіяльності населення, територію, навколишнє природне середовище та майно від надзвичайних ситуацій (НС) різної природи, а також мінімізації їх наслідків [1–3].

В основу створення комплексної системи моніторингу, попередження, ліквідації НС, мінімізації їх наслідків та забезпечення екологічної безпеки, згідно роботи, закладені уявлення про локальну територію з динамічними розмірами, які змінюються від розміру елементарної точки простору до розмірів об'єкта, міста, регіону тощо. Головним фактором оцінки небезпеки локальної території є просторово-часова функціональна поверхня (рисунок 1), випуклості якої відповідають рівням небезпеки в місцях з конкретними географічними координатами [3–7]. Відповідно до рисунку 1, джерело інтегральної небезпеки в точці $A(x, y, z)$ території нелінійно об'єднує:

– джерела природної небезпеки: 1' – процеси у атмосфері; 2' – процеси у біосфері; 3' – процеси у літосфері; 4' – процеси у гідросфері;

– джерела техногенної небезпеки: 1'' – аварії на промислових об'єктах і транспорті; 2'' – вибухи; 3'' – пожежі; 4'' – вивільнення інших видів енергії;

– джерела соціальної небезпеки: 1''' – психологічні особливості особи й особливості виховання; 2''' – несприятливе положення особи; 3''' – соціальна несправедливість; 4''' – напруженість у міжгрупових, міжконфесійних і міжнаціональних стосунках; 5''' – негативні соціальні процеси, що призводять

до руйнування етичних засад, соціальної стійкості особи та законслухняності;

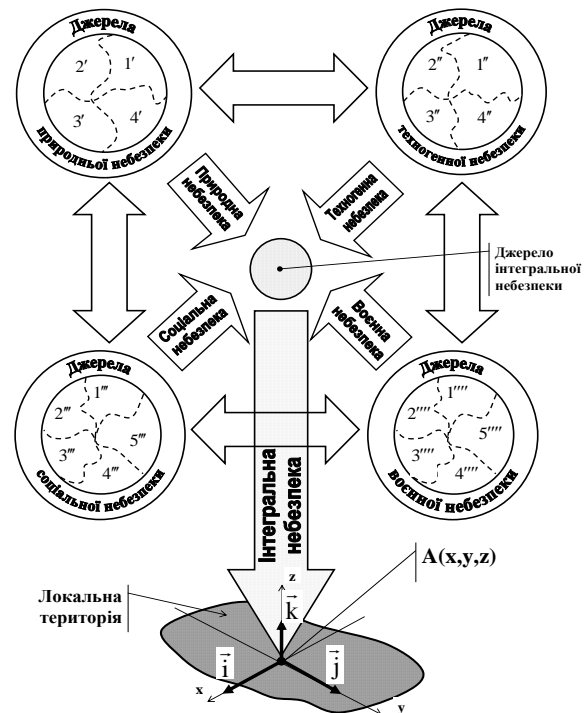


Рисунок 1 – Модельне представлення процесів зародження на локальній території джерел НС різного походження

– джерела воєнної небезпеки: 1'''' – наявність гострих суперечностей, розв'язання яких є можливим лише із застосуванням воєнної сили; 2'''' – наявність у однієї із сторін достатньої кількості військових сил і засобів для розв'язання суперечності на свою користь або здатність держави створити такі сили в

перспективи; 3^{'''} – наявність у лідерів або урядів політичної волі та рішучості піти на застосування сили, здатності використовувати збройні сили для вирішення можливого конфлікту; 4^{'''} – наявність надійних союзників серед держав, їх коаліцій або інших суб'єктів військово-політичних відносин;

5^{'''} – сприятливі геополітичні умови та реальна (або прогнозована) військово-політична обстановка для здійснення військових акцій.

Наслідки для локальної території від впливу різного роду НС представлені на рисунку 2 у вигляді класифікатора збитків.

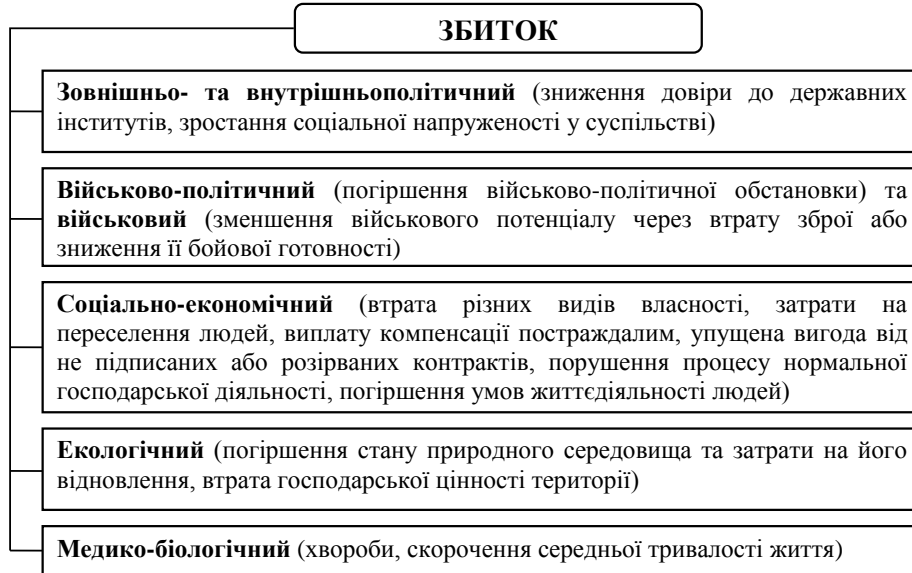


Рисунок 2 – Основні види збитку для локальної території в умовах НС різного походження

Будова комплексної системи моніторингу, попередження, ліквідації НС, мінімізації їх наслідків та забезпечення екологічної безпеки в Україні характеризується чотирма рівнями [2, 3, 7] – об'єктовий, місцевий, регіональний та державний (рисунок 3).

На кожному рівні система має підсистеми, які пов'язані із природною, техногенною та соціальною специфікою рівня захисту, та функціонує шляхом послідовної передачі обробленої інформації про стан небезпеки від об'єктового рівня до державного за допомогою підсистем зв'язку відповідних рівнів і прийняття на кожному рівні антикризових рішень.

Підсистема на відповідному рівні включає (інформацію представлено на прикладі підсистеми 1.1 об'єктового рівня): 1.1.1 – НС об'єктового рівня; 1.1.2 – підсистема контролю попередніх факторів НС об'єктового рівня; 1.1.3 – центр збору й обробки фактичної інформації, прогнозування НС та розробки антикризових рішень об'єктового рівня; 1.1.4 – база даних про НС об'єктового рівня; 1.1.5 – підсистема зв'язку об'єктового рівня; 1.1.6 – керівництво об'єкта; 1.1.7 – рада з питань безпеки об'єкта; 1.1.8 – підсистема доведення інформації до підрозділів реагування на НС об'єктового рівня та до підрозділів охорони правопорядку; 1.1.9 – підсистема життєзабезпечення об'єкта.

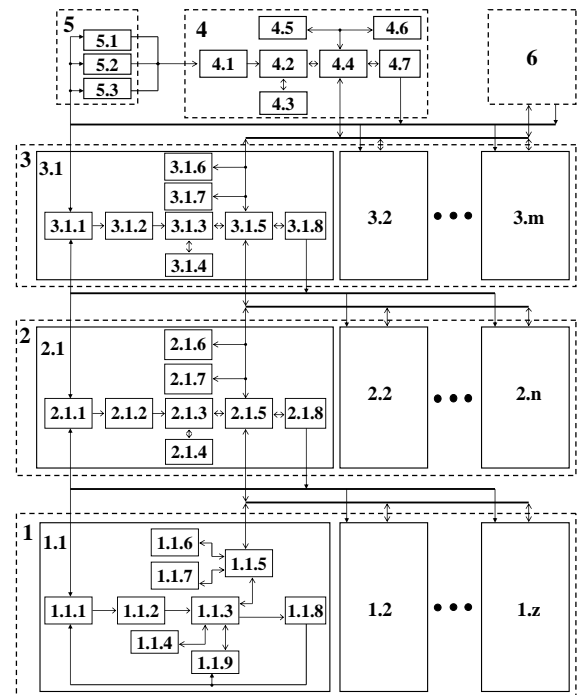


Рисунок 3 – Комплексна функціональна схема системи моніторингу, попередження, ліквідації НС, мінімізації їх наслідків та забезпечення екологічної безпеки: 1 – підсистема об'єктового рівню; 2 – підсистема місцевого рівню; 3 – підсистема регіонального рівню; 4 – підсистема державного рівню; 5 – НС різного походження, що виникають із зовні держави; 6 – системи моніторингу НС країн-членів ООН

На кожному із рівнів в режимі повсякденного функціонування, режимі підвищеної готовності та режимі надзвичайного стану в системі автоматизовано проводиться: 1) обробка отриманої фактичної інформації про стан небезпеки від нижчого рівня та інформації від територіальної підсистеми моніторингу НС даного рівня; 2) прогноз можливості виникнення НС; 3) розробка пропозиції з попередження та ліквідації джерел небезпек на даному та нижчих рівнях та необхідності залучення додаткових сил і засобів попередження та ліквідації НС на вищих рівнях; 4) передача інформації на вищий рівень, включаючи державний.

На державному рівні функції системи зорієнтовані на аналіз інформації, яка надходить як з регіональних підсистем моніторингу, так і державної підсистеми моніторингу НС, яка контролює джерела небезпек у навколосемному, близькому і дальньому космосі, у надрах Землі, в інших державах, які можуть скласти небезпеку для території України.

Таким чином, згідно з функціональною схемою (див. рисунок 3), актуальними є наукові дослідження щодо забезпечення ефективного моніторингу, попередження, ліквідації НС, мінімізації їх наслідків та забезпечення екологічної безпеки на різних рівнях життєдіяльності природно-техногенно-соціальної системи України. З урахуванням сказаного, метою наших досліджень є розвиток науково-технічних основ методів раннього виявлення джерел небезпек та попередження виникнення НС на об'єктовому рівні, для чого необхідно провести оцінку та ранжирування структурних елементів об'єкту контролю за можливістю виникнення різного роду небезпек, які можуть привести до великих матеріальних та нематеріальних збитків, а також до екологічних наслідків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для отримання порівняльної оцінки рівня небезпеки функціонування локальної території в умовах прояву НС різної природи слід використовувати наступні методи:

– статистичний, що базується на аналізі даних статистики виникнення НС протягом кількох років для визначення показників небезпеки об'єктів;

– імовірний, оснований на застосуванні математичних моделей, які пов'язують передумови до виникнення НС із можливістю їх прояву (наприклад, імовірний аналіз безпеки ядерних реакторів);

– експертний, що базується на експертному оцінюванні у поєднанні з теорією нечітких множин.

Перевагою статистичного методу є об'єктивність. Імовірний та експертний методи дозволяють враховувати джерела потенційної небезпеки, що виявляються у формі НС рідко, але наслідки від якої є катастрофічними (наприклад, аварія на Чорнобильській АЕС, землетрус та інші). Однак імовірний метод є надзвичайно громіздким і

трудомістким, вимагає великого числа вихідних даних, що призводить до низької точності одержуваних результатів. За відсутністю апробованих математичних моделей і досить достовірних вихідних даних для них оцінку впливу на можливість реалізації масштабних НС великого числа важко формалізованих вихідних даних доцільно проводити експертним методом [8, 9].

Використаний у роботах [10–12] ризико-орієнтований підхід поряд з оцінкою рівня загроз потребує визначення збитків від наслідків НС. Він застосовується, насамперед, для наукового обґрунтування прийнятного рівня безпеки життєдіяльності функціонально-просторових природно-господарських зон та прийняття рішень щодо розміщення нових потенційно небезпечних промислових об'єктів і розширення або зміни профілю діючих.

Крім того, проведений аналіз наукової літератури показує, що існують окремі підходи щодо кількісної оцінки рівня техногенно-природної небезпеки [13–15]. У роботах [16–17] розроблено показники оцінки стану небезпеки території та зроблено спробу її розподілу за декількома рівнями небезпек окремо для НС техногенного та НС природного характеру. У роботах [18, 19] наведені спроби побудови та використання інтегральних показників оцінки й аналізу рівня безпеки життєдіяльності ПНО та територій за умов базового кількісного розподілу, що розкривають причинно-наслідкові зв'язки управління людськими, матеріальними, інформаційними ресурсами для забезпечення досягнення мети проекту регіонального розвитку. Результатом цих робіт є розподіл регіонів держави за чотирма рівнями небезпеки. Цей підхід призначений для паспортизації регіонів без урахування інтенсивності виникнення НС техногенного та природного характеру.

Питанням моніторингу НС на окремій території [20, 21] та безпеки окремих типів ПНО [18, 22] приділено досить уваги в науковій літературі. Це відноситься до розробки математичних моделей, що відносно повно описують процеси виникнення окремих НС, моделей з ліквідації їх наслідків, з метою удосконалення системи з прийняття управлінських рішень, розробки практичних рекомендацій з технічних, психологічних, організаційних аспектів функціонування окремих систем безпеки, сил і засобів локалізації та ліквідації НС. Крім того, наведений у роботах [23–25] аналіз методів оцінки рівня небезпеки життєдіяльності в умовах прояву НС вказує на необхідність врахування причини виникнення факторів небезпеки та дослідження особливостей прояву нелінійних взаємозв'язків між ними. Це підтверджується роботами [26, 27], де формування основних принципів підтримки ухвалення адекватних рішень базується на прогнозі НС та розробці антикризових рішень в умовах прояву НС.

Таким чином, при розв'язанні проблеми створення ефективної системи моніторингу, попередження, ліквідації НС, мінімізації їх наслідків

та забезпечення екологічної безпеки для формування адекватних комплексних заходів запобігання небезпекам різної природи виникає потреба у визначенні пріоритетів для здійснення техногенно-екологічного аудиту та нагляду на конкретному потенційно небезпечному об'єкті.

Постановка завдання та його вирішення. Метою цієї роботи є вдосконалення системи моніторингу (див. рисунок 3) шляхом ранжирування за результатами оцінки техногенно-

екологічної небезпеки структурних складових ПНО за ймовірністю виникнення на ньому аварійних ситуацій.

Основою системи моніторингу, попередження, ліквідації НС, мінімізації їх наслідків та забезпечення екологічної безпеки на ПНО є класичний контур управління, що забезпечує збір, обробку та аналіз інформації, моделювання розвитку небезпечної обстановки на об'єкті управління, уявлення про який схематично розкриті на рисунку 4.

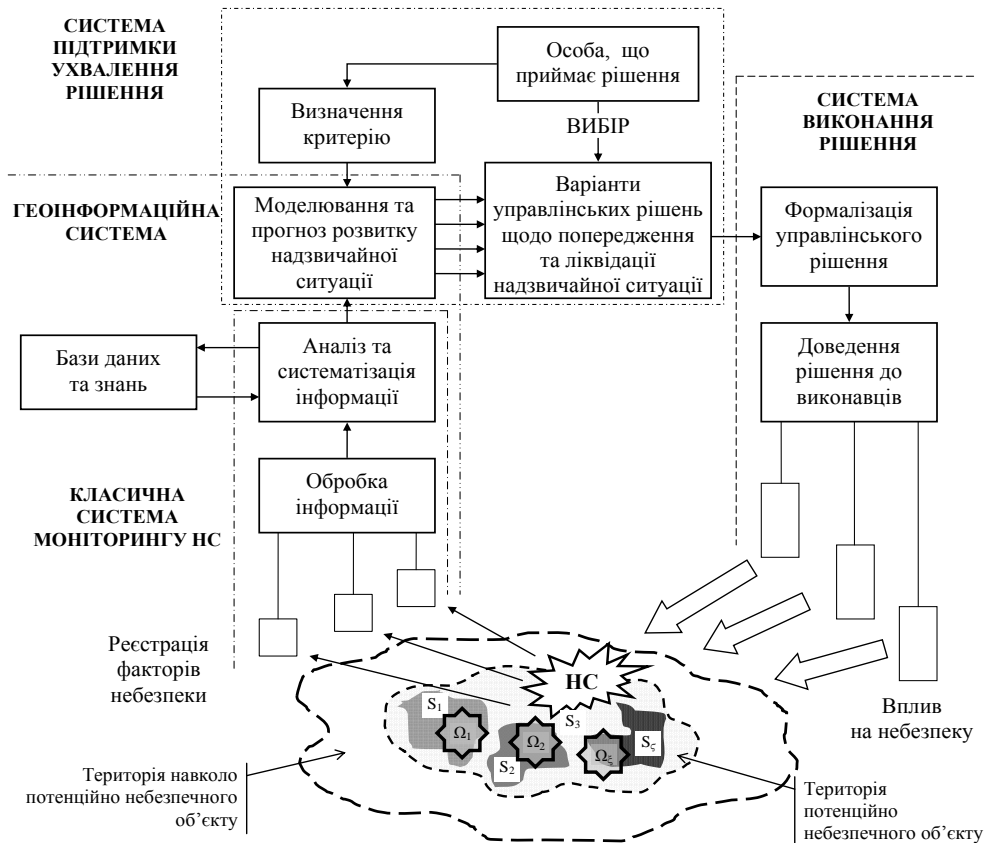


Рисунок 4 – Концептуальна схема функціонування системи моніторингу, попередження, ліквідації НС, мінімізації їх наслідків та забезпечення екологічної безпеки як засобу управління за умов розділення території потенційно небезпечного об'єкту на зони безпеки та розташування технологічного обладнання:

S_{ζ} – властивості територіальних зон безпеки об'єкту; Ω_{ξ} – показники безпеки функціонування технологічного обладнання

Короткий опис принципів функціонування схеми, поданої на рисунку 4.

1) Отримана засобами контролю первинна інформація про фактори безпеки на території ПНО або на прилеглий до об'єкту території по кабелях або радіоканалу транслюється до пристроїв другого рівня. Ці пристрої призначені виконувати обробку отриманої інформації та представляти її у вигляді, необхідному для третього рівня. Обробка отриманої інформації може виконуватися як в одному місці, так і на декількох, залежно від конкретної системи моніторингу та розмірів контрольованої нею території.

2) Оброблена інформація у відповідному вигляді надходить на третій рівень, де виконується її аналіз та систематизація даних, на основі чого робиться висновок про стан безпеки території. Особливо важливо для забезпечення швидкодії системи

використання автоматизованих засобів обробки інформації, яке значно прискорить процеси на другому та третьому рівнях системи моніторингу, дозволить створити електронні, доступні в реальному масштабі часу, бази даних та знань.

3) Використання відповідних математичних методів дозволить на основі отриманої інформації у відносно нетривалі терміни часу виконати моделювання небезпечної ситуації, прогнозування її розвитку та рівня, відображати прогнозовану динаміку катастрофічних подій графічно (у тому числі з використанням map).

4) Друга інформаційна система є системою підтримки ухвалення рішення. Особа, що приймає рішення, визначає один або декілька критеріїв, відповідно до яких здійснюється прогностичне

моделювання розвитку НС та виробляються варіанти управлінських рішень, які обґрунтовані відповідними розрахунками. З набору варіантів управлінських рішень особа обирає один, або задає ще додаткові критерії, відповідно до яких виконується моделювання та розробка управлінських рішень, направлених на недопущення розвитку небезпеки до рівня катастрофи. Якщо ж катастрофи вже не уникнути, то розробка управлінських рішень направлена на мінімізацію наслідків від неї.

5) Затверджене особою, що приймає рішення, рішення надходить до системи виконання рішення, де виконується його формалізація та доведення до виконавців. Зміни стану локальної території та зміни стану небезпеки на ній викликать зміни у величинах вимірюваних параметрів, що фіксуються пристроями контролю. Подальше моделювання покаже ефективність виконання управлінського рішення – контур управління замкнеться.

Проілюстровані на рис. 4 умови функціонування об'єктові системи моніторингу, попередження, ліквідації НС, мінімізації їх наслідків та забезпечення екологічної безпеки умовно поділяють територію об'єкту на територіально-небезпечні зони зі своїми властивостями (S_{ξ}) та розташованим в них технологічним обладнанням (Ω_{ξ}). Це дозволяє сформулювати комплексний підхід до формування системи безпеки та розкрити механізм процесу запобігання проявам внутрішніх та зовнішніх небезпек.

Одним з підходів багатofакторної оцінки впливу структурних елементів на функціонування ПНО як територіально-часової параметричної системи в умовах обмеженості інформації є використання комплексного експертного оцінювання.

В роботі, як приклад, для експертної оцінки та ранжирування структурних елементів за ступенем впливу на загальний рівень техногенно-екологічної безпеки функціонування ПНО вибрано АТ «Хладпром» (м. Харків). Схема розташування основних структурних складових з виробництва морозива та збереження продуктів харчування на території підприємства представлена на рисунку 5.

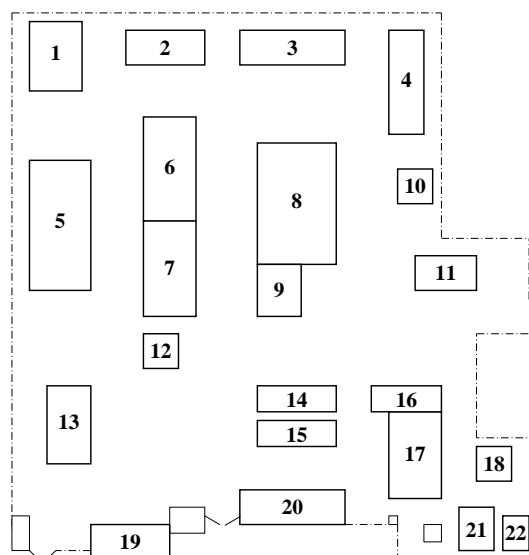


Рисунок 5 – Схема розташування основних структурних підрозділів по території підприємства АТ «Хладпром»: 1, 2 – склади; 3 – підсобно-виробничий корпус; 4 – гараж; 5 – рибозавод; 6 – холодильник; 7 – маринадний цех; 8 – технологічний цех; 9 – компресорний цех; 10 – мийка; 11 – склад паливо-мастильних матеріалів; 12 – склад; 13 – цех сухого льоду; 14, 15 – градирні; 16 – компресорний цех; 17 – виробничий цех; 18 – склад; 19 – столова; 20 – адміністративний корпус; 21 – газова котельня; 22 – склад

Для вирішення поставленої задачі було проведено узагальнення основних можливих джерел техногенно-екологічної небезпеки функціонування ПНО, розроблено експертну анкету, сформовано групу експертів та проведено експертне дослідження [28, 29].

Застосовуючи запропонований підхід була проведена процедура експертної оцінки розташованих по території підприємства АТ «Хладпром» основних структурних підрозділів підприємства. Результати експертної оцінки ($n=6$) основних структурних елементів за ступенем їх впливу на загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування ПНО представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експертної оцінки основних структурних елементів АТ «Хладпром» за ступенем їх впливу на загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування підприємства

Номер об'єкту*	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	Експерт 6	Усереднена оцінка	Стандартне відхилення
1	4	4	5	4	4	3	4,0	0,6
2	4	4	4	4	4	3	3,8	0,4
3	5	5	5	6	6	5	5,3	0,5
4	5	4	5	6	5	5	5,0	0,6
5	5	5	5	6	6	5	5,3	0,5
6	8	7	8	8	8	7	7,7	0,5
7	5	6	5	6	6	5	5,5	0,5
8	6	6	6	6	7	5	6,0	0,6
9	9	8	9	9	8	8	8,5	0,5
10	2	3	2	2	2	2	2,2	0,4

Таблиця 1 – Продовження

Номер об'єкту*	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	Експерт 6	Усереднена оцінка	Стандартне відхилення
11	5	5	5	6	6	5	5,3	0,5
12	4	3	4	3	4	3	3,5	0,5
13	6	6	6	6	7	5	6,0	0,6
14	2	2	2	1	2	2	1,8	0,4
15	2	1	1	2	2	2	1,7	0,5
16	9	8	8	8	8	8	8,2	0,4
17	6	6	5	6	6	5	5,7	0,5
18	3	3	4	3	4	3	3,3	0,5
19	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
20	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
21	5	4	5	5	5	4	4,7	0,5
22	3	3	3	3	3	3	3,0	0,0

*Нумерація об'єктів відповідає нумерації на рисунку 5.

Узгодженість експертів була перевірена за допомогою загального коефіцієнта рангової кореляції для групи, що складається з m експертів (коефіцієнта конкордації). Використовувався вираз, запропонований Кендаллом:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (1)$$

де S – показник варіації відносно середнього рангу ($a = 0,5m(n+1)$), який визначається формулою

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} - a \right)^2;$$

n – кількість об'єктів ранжирування, m – кількість експертів, r_{ij} – ранг i -го об'єкту ранжирування, що встановлений j -м експертом.

У цьому випадку коефіцієнт конкордації дорівнює 0,685. Для того, щоб переконатися, що існує не випадкова узгодженість в думках експертів, використовувався критерій χ^2 , який перевіряє гіпотезу про нерівномірний розподіл проти альтернативи – про рівномірний. Знайдене значення

$$\chi^2 = m \cdot (n-1) \cdot W = 86,3 \quad (2)$$

більше табличного значення $\chi_{табл}^2 = 16,8$, яке визначається числом ступенів свободи $\nu = n-1 = 21$ та рівнем довірчої ймовірності $P = 0,99$.

Це вказує на узгоджену експертну оцінку та дозволяє використовувати отримані результати для кластеризації структурних елементів, які розташовані по території підприємства з тим, щоб знайти групи схожих об'єктів у вибірці даних, так званих кластерів, які характеризуються наступними

основними властивостями: щільність, дисперсія, розмір, форма та віддільність [30, 31]. Під щільністю мається на увазі властивість, яка дозволяє визначити кластер, як скупчення точок у просторі даних, відносно щільне у порівнянні з іншими областями простору, що містять або малу кількість точок, або не містять їх взагалі. Дисперсія характеризує міру розсіювання точок у просторі відносно центра кластера. Розмір кластера тісно пов'язаний з дисперсією. Форма кластера визначається положенням точок у просторі. При зображенні кластерів у вигляді різних форм виникає необхідність визначення «зв'язаності» точок у кластері у вигляді відносної міри відстані між ними. Міри відстані зазвичай не обмежені зверху та залежать від вибору шкали (масштабу) вимірів. Віддільність характеризує міру перекриття кластерів і наскільки далеко один від одного вони розташовані у просторі. Тобто, роботу наглядового органу доцільно організувати з урахуванням внеску конкретних структурних підрозділів у загальну техногенно-екологічну небезпеку, яку створює потенційно небезпечне підприємство.

При визначенні міри відстані однією з найбільш відомих відстаней є евклідова відстань, яка визначається як:

$$d_{\alpha\beta} = \sqrt{\sum_{z=1}^p (X_{\alpha z} - X_{\beta z})^2}, \quad (3)$$

де $d_{\alpha\beta}$ – відстань між об'єктами α та β ; $X_{\alpha z}$ – абсолютне значення z -ї змінної для об'єкта α ; $X_{\beta z}$ – абсолютне значення z -ї змінної для об'єкта β .

Проте при аналізі міри відстані оцінка схожості потенційно небезпечних об'єктів сильно залежить від відмінностей у зрушеннях даних. Так, змінні, що характеризуються великими абсолютними значеннями небезпек та їх стандартними відхиленнями, можуть зменшити вплив змінних, які характеризуються

малими абсолютними значеннями та відповідними стандартними відхиленнями. Тому для зменшення цього впливу в роботі перед визначенням міри відстані $d_{\alpha\beta}$ необхідно провести процес стандартизації даних, що базується на нормалізації змінних до одиничної дисперсії та нульового середнього

$$\begin{aligned} X_{\alpha z}^* &= \frac{X_{\alpha z} - M[X_{\alpha}]}{\sigma_{X_{\alpha}}}, \\ X_{\beta z}^* &= \frac{X_{\beta z} - M[X_{\beta}]}{\sigma_{X_{\beta}}}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $X_{\alpha z}^*$, $X_{\beta z}^*$ – стандартизовані значення z -х змінних для об'єктів α та β ; $M[X_{\alpha}]$, $M[X_{\beta}]$ – математичні очікування, характерні для змінних об'єктів α та β ; $\sigma_{X_{\alpha}}$, $\sigma_{X_{\beta}}$ – стандартні відхилення, характерні для змінних об'єктів α та β .

Організація наглядової діяльності контролюючих органів характеризується ієрархічною структурою, у зв'язку з цим було прийнято проведення послідовного об'єднання менших кластерів у великі із застосуванням так званих агломеративних методів

шляхом розділення великих кластерів на менші, тобто так званих дивізімних методів.

Враховуючи можливість застосування стандартних процедур в існуючих прикладних програмах для оцінки відстаней між кластерами шляхом мінімізації квадратів дисперсій для кластерів, які можуть бути сформовані на кожному кроці, було використано метод Варда [30, 31].

Результати визначення мір евклідових відстаней між рівнями техногенно-екологічної небезпеки функціонування структурних елементів, які розташовані по території АТ «Хладпром», представлені у таблиці 2.

Результат покрокового агломеративного об'єднання структурних елементів підприємства у кластери представлено на рисунку 6. Дендрограма ієрархічної кластеризації (побудована методом Варда) структурних елементів підприємства за результатами експертної оцінки на предмет визначення їх вкладу у загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки ПНО наведена на рисунку 7. Аналіз дендрограми кластеризації дозволив в залежності від відстані об'єднання (на рівні порядку 15...20 евклідових одиниць) розділити територію підприємства на три – чотири кластери.

Таблиця 2 – Евклідові відстані між стандартизованими значеннями результатів експертної оцінки основних структурних елементів АТ «Хладпром» за ступенем їх впливу на загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування підприємства

Номер об'єкту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0,0	1,0	3,7	3,16	3,7	9,1	4,1	5,1	11,1	4,8	3,7	1,7	5,1	5,6	6,2	10,3	4,5	2,0	7,5	7,5	2,00	2,8
2	1,0	0,0	3,9	3,32	3,9	9,4	4,2	5,4	11,5	4,2	3,9	1,4	5,4	5,1	5,6	10,7	4,6	1,7	7,0	7,0	2,24	2,2
3	3,7	3,9	0,0	1,41	0,0	5,8	1,0	2,0	7,9	7,9	0,0	4,8	2,0	8,8	9,1	7,1	1,4	5,1	10,7	10,7	2,00	5,8
4	3,2	3,3	1,4	0,0	1,4	6,6	2,2	3,2	8,7	7,3	1,4	4,1	3,2	8,1	8,2	7,9	2,4	4,5	9,9	9,9	1,41	5,1
5	3,7	3,9	0,0	1,41	0,0	5,8	1,0	2,0	7,9	7,9	0,0	4,8	2,0	8,8	9,1	7,1	1,4	5,1	10,7	10,7	2,00	5,8
6	9,1	9,4	5,8	6,63	5,8	0,0	5,6	4,2	2,2	13,6	5,8	10,2	4,2	14,4	14,8	1,7	5,1	10,7	16,4	16,4	7,35	11,5
7	4,1	4,2	1,0	2,24	1,0	5,6	0,0	1,7	7,6	8,2	1,0	5,3	1,7	9,2	9,5	6,8	1,0	5,6	11,1	11,1	2,65	6,2
8	5,1	5,4	2,0	3,16	2,0	4,2	1,7	0,0	6,4	9,5	2,0	6,2	0,0	10,3	10,8	5,6	1,4	6,6	12,3	12,3	3,46	7,5
9	11,1	11,5	7,9	8,66	7,9	2,2	7,6	6,4	0,0	15,6	7,9	12,3	6,4	16,4	16,8	1,4	7,1	12,8	18,4	18,4	9,43	13,5
10	4,8	4,2	7,9	7,28	7,9	13,6	8,2	9,5	15,6	0,0	7,9	3,7	9,5	1,4	2,2	14,8	8,7	3,3	3,0	3,0	6,40	2,2
11	3,7	3,9	0,0	1,41	0,0	5,8	1,0	2,0	7,9	7,9	0,0	4,8	2,0	8,8	9,1	7,1	1,4	5,1	10,7	10,7	2,00	5,8
12	1,7	1,4	4,8	4,12	4,8	10,2	5,3	6,2	12,3	3,7	4,8	0,0	6,2	4,2	4,8	11,5	5,6	1,0	6,2	6,2	3,00	1,7
13	5,1	5,4	2,0	3,16	2,0	4,2	1,7	0,0	6,4	9,5	2,0	6,2	0,0	10,3	10,8	5,6	1,4	6,6	12,3	12,3	3,46	7,5
14	5,6	5,1	8,8	8,06	8,8	14,4	9,2	10,3	16,4	1,4	8,8	4,2	10,3	0,0	1,7	15,6	9,5	3,9	2,2	2,2	7,14	3,0
15	6,2	5,6	9,1	8,25	9,1	14,8	9,5	10,8	16,8	2,2	9,1	4,8	10,8	1,7	0,0	16,0	9,9	4,5	2,0	2,0	7,48	3,5
16	10,3	10,7	7,1	7,94	7,1	1,7	6,8	5,6	1,4	14,8	7,1	11,5	5,6	15,6	16,0	0,0	6,2	12,0	17,6	17,6	8,66	12,7
17	4,5	4,6	1,4	2,45	1,4	5,1	1,0	1,4	7,1	8,7	1,4	5,6	1,4	9,5	9,9	6,2	0,0	6,0	11,5	11,5	2,83	6,6
18	2,0	1,7	5,1	4,47	5,1	10,7	5,6	6,6	12,8	3,3	5,1	1,0	6,6	3,9	4,5	12,0	6,0	0,0	5,8	5,8	3,46	1,4
19	7,5	7,0	10,7	9,90	10,7	16,4	11,1	12,3	18,4	3,0	10,7	6,2	12,3	2,2	2,0	17,6	11,5	5,8	0,0	0,0	9,06	4,9
20	7,5	7,0	10,7	9,90	10,7	16,4	11,1	12,3	18,4	3,0	10,7	6,2	12,3	2,2	2,0	17,6	11,5	5,8	0,0	0,0	9,06	4,9
21	2,0	2,2	2,0	1,41	2,0	7,3	2,6	3,5	9,4	6,4	2,0	3,0	3,5	7,1	7,5	8,7	2,8	3,5	9,1	9,1	0,0	4,2
22	2,8	2,2	5,8	5,10	5,8	11,5	6,2	7,5	13,5	2,2	5,8	1,7	7,5	3,0	3,5	12,7	6,6	1,4	4,9	4,9	4,24	0,0

*Нумерація об'єктів відповідає нумерації на рисунку 5.

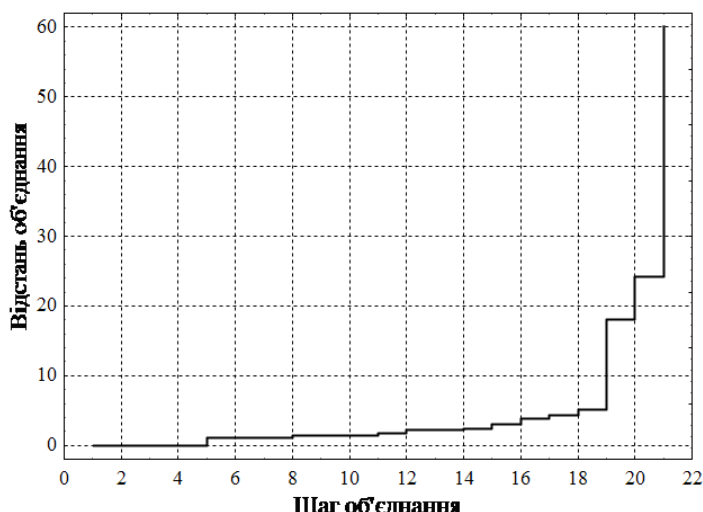


Рисунок 6 – Графік покрокового об'єднання значень результатів експертної оцінки основних структурних елементів АТ «Хладпром» за ступенем їх впливу на загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування підприємства

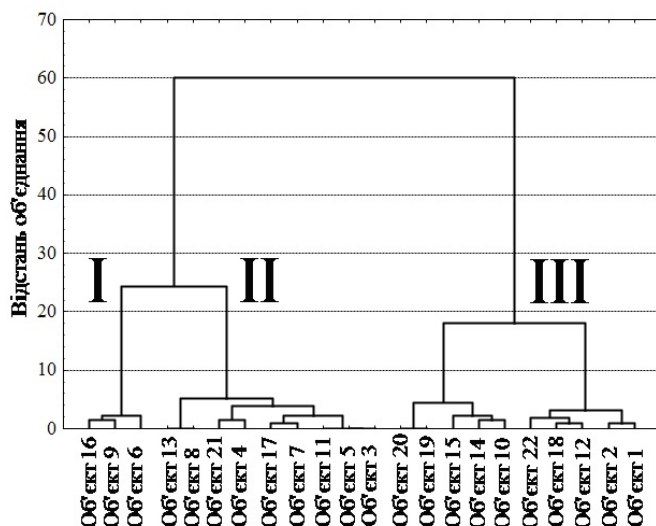


Рисунок 7 – Дендрограма кластеризації структурних елементів АТ «Хладпром» за результатами експертної оцінки щодо ступеню їх впливу на загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування підприємства

Так, за умов розділення території підприємства на три кластери (на рівні 20 евклідових одиниць у відповідності до рисунку 7), до першого кластера, з високим рівнем техногенно-екологічної небезпеки (усереднена експертна оцінка знаходиться на рівні 6,0...8,2), відносяться холодильник та компресорні цеха, де можливо викид аміаку.

До другого кластера, із середнім рівнем техногенно-екологічної небезпеки (усереднена експертна оцінка знаходиться на рівні 4,7...6,0), відносяться інші виробничі об'єкти: підсобно-виробничий корпус, гараж, рибозавод, маринадний і технологічний цеха, склад паливо-мастильних матеріалів, цех сухого льоду, виробничий цех та газова котельня. Решта об'єктів відноситься до третього кластера.

Отримані розрахункові результати щодо кластеризації дозволяють зробити за цими даними фактичну оцінку ступеню загрози виникнення

небезпеки з урахуванням існуючого розташування об'єктів підприємства. На рисунку 8 додатково виконано у окремих низках об'єднання структурних підрозділів згідно отриманої кластеризації об'єктів підприємства. Зі схеми видно, що підрозділи першого кластера (6, 9 і 16), які мають найбільший рівень техногенно-екологічної небезпеки, а також – другого кластера (2, 4, 5, 7, 8, 11, 13 й 17) розташовані у центрі території підприємства. У випадку виникнення аварійної ситуації, наприклад пожежі по лінії 6–9–16, то небезпечно займається пожежа за напрямками підрозділів 13–7–8–4, 10–14–16 тощо. Звичайно, що підрозділи підвищеного ступеню техногенно-екологічної небезпеки повинні бути розміщені з урахуванням рози вітрів, тобто на краю території підприємства з підвітряної сторони. У цьому випадку, по крайній мірі, з урахуванням вітру підрозділи 1, 2, 5, 12 і 13 мають бути переміщені у крайню навітряну зону території.

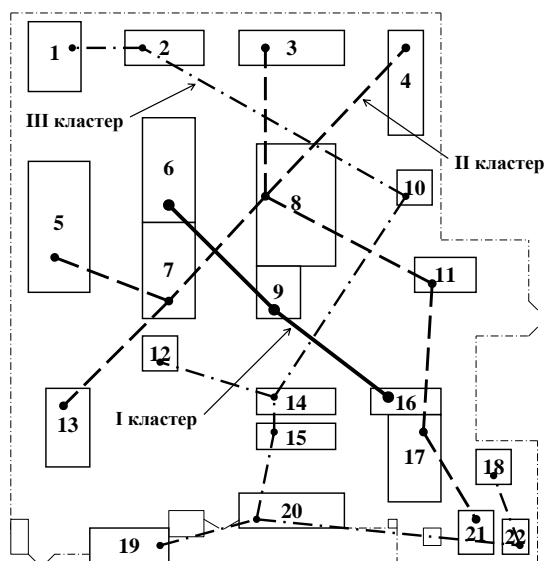


Рисунок 8 – Схема територіальної кластеризації основних структурних елементів АТ «Хладпром» за ступенем їх впливу на загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування підприємства (нумерація об'єктів відповідає нумерації на рисунку 5)

З урахуванням отриманих результатів експертно-кластерного аналізу на перспективу реконструкції підприємство отримує достатньо надійну передислокацію по території, тому що теоретичне обґрунтування розміщення структурних елементів дозволить суттєво знизити ймовірність виникнення небезпечної ситуації.

Таким чином, апробований на прикладі АТ «Хладпром» підхід щодо експертно-кластерної оцінки ступеню впливу структурних підрозділів на загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування підприємства дозволяє конкретизувати послідовність оцінки та подальшого ранжирування структурних складових ПНО за умовною ймовірністю виникнення на них та прилеглих до них локальних територій техногенно-екологічних надзвичайних ситуацій.

Висновки.

1. Обґрунтовано створення комплексної чотирирівневої (з урахуванням взаємозв'язків між об'єктовим, міським, регіональним і державним рівнями) системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій різного характеру, з підсистемами раннього виявлення джерел техногенно-екологічної небезпеки і попередження виникнення екологічної катастрофи на різних рівнях життєдіяльності, що є необхідним для гарантованого забезпечення відповідного рівня безпеки функціонування території України.

2. Показано, що основою системи раннього виявлення джерел техногенно-екологічної небезпеки

і попередження виникнення екологічної катастрофи на різних рівнях життєдіяльності є класичний контур управління, що забезпечує збір, обробку та аналіз інформації, моделювання розвитку аварійної обстановки на потенційно небезпечному об'єкті.

3. Запропонований ризико-орієнтований підхід до створення та застосування комплексної системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій різного характеру та забезпечення екологічної безпеки може бути здійсненим за результатами експертно-кластерної оцінки ступеню впливу елементів життєдіяльності на рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування природно-техногенно-соціальної системи. Отримання такої оцінки дозволяє ранжувати структурні складові ПНО за умовною ймовірністю виникнення на них та прилеглих до них локальних територій техногенно-екологічних надзвичайних ситуацій.

4. Реалізація запропонованої експертно-кластерної оцінки до визначення впливу структурних підрозділів АТ «Хладпром» на загальний рівень техногенно-екологічної небезпеки функціонування ПНО, дозволяє об'єднати об'єкти, які розташовані на території підприємства, в межах трьох кластерів. До I кластера віднесено холодильник та компресорні цеха, де можливо викид аміаку. До II кластера – підсобно-виробничий корпус, гараж, рибозавод, маринадний і технологічний цеха, склад паливо-мастильних матеріалів, цех сухого льоду, виробничий цех та газова котельня. До III кластера – решта об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // Голос України. – 2012.– листопад (№ 220 (5470)). – С. 4–20.
2. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки [Текст] / В. Д. Калугін, В. В. Тютюнник, Л. Ф. Черногор, Р. І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Х.: Харк. ун-т повітряних сил ім. Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204–216.

3. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні [Текст]: моногр. / В. А. Андронов, М. М. Дівізінюк, В. Д. Калугін, В. В. Тютюнник. – Х.: НУЦЗ України, 2016. – 319 с.
4. Тютюнник, В. В. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій [Текст] / В. В. Тютюнник, Л. Ф. Чорногор, В. Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗ України, 2011. – Вип. 14. – С. 171–194. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol14/Tyutyunik.pdf>.
5. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні [Текст] / В. Д. Калугін, В. В. Тютюнник, Л. Ф. Чорногор, Р. І. Шевченко // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. – Х., 2012. – № 1/6(55). – С. 59–70.
6. Основи методології територіально-часового формування джерел надзвичайних ситуацій та екологічної небезпеки на локальній території [Текст] / В. В. Тютюнник, О. М. Соболь, В. Д. Калугін, Ю. В. Тютюнник // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – К.: Ін-т геохімії навколишнього середовища НАН України, 2015. – Вип. 9. – С. 92–108.
7. Тютюнник, В. В. Створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в регіонах України: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 21.02.03 / Вадим Володимирович Тютюнник; ДП «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». – К., 2015. – 42 с.
8. Оцінка обставини у надзвичайних ситуаціях [Текст] / В. Є. Гончарук, С. І. Качан, С. М. Орел, В. І. Пуцило. – Л.: Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2004. – 183 с.
9. Беляев, Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций [Текст] / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Дн.: Акцент ПП, 2013. – 158 с.
10. Биченок, М. М. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі [Текст] / М. М. Биченок, С. П. Іванюта, Є. О. Яковлев. – К.: Ін-т проблем нац. безпеки РНБО України, 2008. – 160 с.
11. Козлачков, В. И. Разработка метода экспресс – оценки угрозы людям при пожаре [Текст] / В. И. Козлачков, А. О. Андреев. – М.: АГПС МЧС России, 2006. – 215 с.
12. Брушлинский, Н. Н. Снова о рисках и управлении безопасностью [Текст] / Н. Н. Брушлинский // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М.: ВИНТИ РАН, 2002. – № 4. – С. 230–234.
13. Соколов, Ю. Н. Динамические процессы в экологических системах [Текст] / Ю. Н. Соколов. – О.: ТЕС, 2012. – 119 с.
14. Акимов, В. А. Определение относительной опасности территорий [Текст] / В. А. Акимов, Н. Н. Радиев // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М.: ВИНТИ РАН, 2000. – № 6. – С. 129–140.
15. Рак, Ю. П. Оцінка стану життєдіяльності регіонів України: інтегральний підхід [Текст] / Ю. П. Рак, О. Б. Зачко // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Л.: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2008. – № 13. – С. 86–90.
16. Акимов, В. А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах [Текст] / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
17. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций и антикризисное управление [Текст] / Я. Д. Вишняков, К. А. Кирсанов, С. Г. Васин, Ю. А. Буковская // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М.: ВИНТИ РАН, 2004. – № 2. – С. 38–47.
18. Комплексная оценка уровня риска опасного объекта [Текст] / В. Д. Кондратьев, А. В. Толстых, Б. К. Уандыков, А. В. Щепкин // Системы управления и информационных технологий. – Воронеж: Воронежский гос. техн. ун-т, 2004. – № 3(15). – С. 53–57.
19. Лепихин, А. М. Комплексные показатели безопасности территорий [Текст] / А. М. Лепихин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М.: ВИНТИ РАН, 2008. – № 5. – С. 93–98.
20. Пат. 60922 Україна, МПК(2011.01) G01V3/00. Спосіб оперативного визначення ризиків надзвичайних ситуацій / Якорнов Є. А., Ліпчевська І. Л., Лисенко О. І. и др.; Власники патенту: Якорнов Є. А., Ліпчевська І. Л., Лисенко О. І., Романченко І. С., Андрієвська О. А. – № u201101676; заявл. 14.02.2011; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12.
21. Науково-технічні основи комплексної системи моніторингу зон екологічного забруднення, яка включає автоматизовані пристрої контролю та безпілотні літальні апарати [Текст] / В. А. Андронов, Г. В. Іванець, В. Д. Калугін, В. В. Тютюнник // Техногенно-екологічна безпека. – Х.: НУЦЗ України, 2017. – Вип. 2. – С. 18–26.
22. Гражданкин, А. И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов [Текст] / А. И. Гражданкин, М. В. Лисанов, А. С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – М.: Ростехнадзор, 2002. – № 2. – С. 12–20.
23. Малинецкий, Г. Г. Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент [Текст] / Г. Г. Малинецкий. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 312 с.
24. Востоков, В. Ю. О моделировании развития чрезвычайной ситуации по «Принципу домино» [Электронный ресурс] / В. Ю. Востоков, Е. Ю. Маркидонова, А. И. Коровин // Технологии техногенной безопасности: интернет-журн. – М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2012. – № 6(46). – Режим доступа: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2012-1/13-06-12.ttb.pdf>.

25. Омельчук, А. М. Интеграция систем безопасности и нелинейность матрицы угроз [Текст] / А. М. Омельчук // Системы безопасности. – М.: Гротек, 2001. – № 41. – С. 20–21.
26. Saperstein, A. M. Chaos versus predictability in formulating national strategic security policy [Text] / A. M. Saperstein, G. Mayer-Kress // American Journal of Physics. – 1988. – Vol. 57. – № 3. – P. 217–233.
27. Paczuski, M. Avalanche dynamics in evolution, growth, and depinning models [Text] / M. Paczuski, S. Maslov, P. Bak // Physical Review E. – 1996. – Vol. 53. – №1. – P. 414–443.
28. Бешелев, С. Д. Математико-статистичні методи експертних оцінок [Текст] / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гуревич. – М.: Статистика, 1974. – 264 с.
29. Бурков, В. Н. Получение и анализ экспертной информации [Текст] / В. Н. Бурков, Л. А. Панкова, М. В. Шнейдерман. – М.: ИПУ, 1980. – 50 с.
30. Ким Дж.-О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ [Текст] / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мюллер, У. Р. Клекка и др. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
31. Халафян, А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных [Текст] / А. А. Халафян. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

Стаття надійшла до редакції 02.12.2017 р.

V. Tiutiunyk, V. Strelec, V. Kalugin, Yu. Zakharchenko

METHODOLOGICAL APPROACH DEVELOPMENT FOR TECHNOGENIC AND ECOLOGICAL ASSESSMENT OF DANGER LEVEL OF FUNCTIONING OF LOCAL TERRITORIES OF UKRAINE

The expert algorithm and cluster approach for carrying out audit and independent examination at all levels of functioning natural and technogenic and social system has been formulated and offered. It is based on expert assessment results extent influence of structural divisions of JSC «Hladprom» on the common tekhnogenic and ecological danger level of functioning potentially dangerous object. Realization risk – the focused approach for level assessment effectiveness functioning of complex four-level system monitoring prevention and elimination emergency situations various character and ensuring ecological safety territory of Ukraine has been carried out on the basis of representations about a local territory with dynamic dimensions that vary from the size of an elementary point of space to the size of an object, a city, a region, etc., and also taking into account the interrelations between these levels of life activity.

Keywords: technogenic and ecological danger, emergency situations, local territories, expert assessment, the cluster analysis, audit and examination danger, risk – the focused approach.

В. В. Тютюник, В. М. Стрілець, В. Д. Калугін, Ю. В. Захарченко

РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ ТЕХНОГЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ УКРАИНЫ

На основе результатов экспертной оценки степени влияния структурных подразделений АО «Хладпром» на общий уровень техногенно-экологической опасности функционирования потенциально опасного объекта, сформулирован и предложен алгоритм экспертно-кластерного подхода для проведения аудита и независимой экспертизы на всех уровнях функционирования природно-техногенно-социальной системы. Реализация риск-ориентированного подхода для оценки уровня эффективности функционирования комплексной четырехуровневой системы мониторинга, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций различного характера и обеспечения экологической безопасности территории Украины проводится на основе представлений о локальной территории с динамическими размерами, изменяющимися от размера элементарной точки пространства до размеров объекта, города, региона и т.п., а также с учетом взаимосвязей между этими уровнями жизнедеятельности.

Ключевые слова: техногенно-экологическая опасность, чрезвычайные ситуации, локальная территория, экспертная оценка, кластерный анализ, аудит и экспертиза опасности, риск-ориентированный подход.

ЗМІСТ

Поспелов Б. Б., Андронов В. А. МОДЕЛИ КАЧЕСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПО РЕАЛЬНЫМ ДАНЫМ МОНИТОРИНГА	3
Balaceanu C. M., Iordache G. ASSESSMENT OF THE AIR POLLUTION AT THE INDUSTRIAL STATIONS IN METROPOLITAN AREA OF BUCHAREST	8
Зацеркляний М. М. УТВОРЕННЯ ПИЛУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ГАЛУЗІ ХЛІБОПРОДУКТІВ І ЗМЕНШЕННЯ ПИЛОВИДІЛЕННЯ	16
Богданов І. Т., Сичікова Я. О., Вамболь С. О., Вамболь В. В. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НАНОМАТЕРІАЛІВ ЧЕРЕЗ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НАНОСТРУКТУР	21
Kustov M., Kalugin V. MODIFICATION OF PYROTECHNIC COMPOSITION TO EFFECTIVELY NEUTRALIZE ACIDIC AND CHEMICALLY HAZARDOUS ATMOSPHERIC PRECIPITATION	28
Кудин О. М., Мунтян В. К., Олійник Т. М., Кудин К. О. РОЗРОБКА БЕЗПЕЧНОГО СПОСОБУ ОТРИМАННЯ КРИСТАЛІВ CsI:TI З РАДІОНУКЛІДАМИ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В РАДІОЕКОЛОГІЧНОМУ МОНИТОРИНГУ	33
Цибуля С. Д., Старчак В. Г., Нешта А. В., Іваненко К. М., Буяльська Н. П., Костенко І. А. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНИТОРИНГУ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ	39
Колосков В. Ю. ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧУЩИХ ПОКАЗНИКІВ КРИТЕРІЮ ЕКОЛОГІЧНОГО РЕЗЕРВУ ТЕРИТОРІЙ, ПРИЛЕГЛИХ ДО МІСЦЬ ЗБЕРІГАННЯ ВІДХОДІВ	44
Tiniakov D., Zhengqiang Cheng, Jie Liu ANALYSIS OF THE AIRCRAFT NOISE IMPACT ON ENVIRONMENT FOR DETERMINE THE RATIONAL WAYS OF ITS REDUCTION	52
Азаров С. І., Сидоренко В. Л., Задунай О. С. ЩОДО ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ	58
Колесник В. Е., Павличенко А. В., Бучавий Ю. В. УНІФІКОВАНА МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ	64
Поспелов Б. Б., Андронов В. А. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКЛАССИЧЕСКОГО ПОДХОДА К НАИЛУЧШЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ФУНКЦИЯХ ПОТЕРЬ	70
Kondratenko O. SELECTION OF CRITERIAL APPARATUS FOR COMPLEX ASSESSMENT OF ECOLOGICAL SAFETY LEVEL OF EXPLOITATION PROCESS OF POWER PLANTS	75
Демків А. М., Сидоренко В. Л., Азаров С. І. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ТОКСИЧНИХ СПОЛУК В ПРОЦЕСІ ЗГОРЯННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ	85
Тютюник В. В., Стрілець В. М., Калугін В. Д., Захарченко Ю. В. РОЗВИТОК МЕТОДОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ РІВНЯ НЕБЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ	91

TABLE OF CONTENT

Pospelov B., Andronov V. MODEL OF QUALITY OF DETECTION OF ENVIRONMENTAL HAZARDS USING REAL DATA OF MONITORING	3
Balaceanu C. M., Iordache G. ASSESSMENT OF THE AIR POLLUTION AT THE INDUSTRIAL STATIONS IN METROPOLITAN AREA OF BUCHAREST	8
Zatserkliannyi M. FORMATION OF DUST IN ENTERPRISES OF THE BREAD INDUSTRY AND DECREASING OF DUST FORMATION	16
Bogdanov I., Suchikova Y., Vambol S., Vambol V. ENSURING OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF NANOMATERIALS BY CONTROLLING THE QUALITY OF NANOSTRUCTURES	21
Kustov M., Kalugin V. MODIFICATION OF PYROTECHNIC COMPOSITION TO EFFECTIVELY NEUTRALIZE ACIDIC AND CHEMICALLY HAZARDOUS ATMOSPHERIC PRECIPITATION	28
Kudin A., Muntyan V., Oliynyk T., Kudin K. ECOLOGY SAFETY TECHNIQUE FOR GROWTH OF CsI:TI CRYSTALS WITH INTERNAL RADIOISOTOPES FOR RADIOECOLOGICAL MONITORING	33
Tsybulia S., Starchak V., Neschta A., Ivanenko K., Buyalska N., Kostenko I. IMPROVEMENT OF THE ECOLOGICAL MONITORING METHODS AND ENSURING OF THE TECHNOGENOUS-ECOLOGICAL SAFETY OF METAL CONSTRUCTIONS	39
Koloskov V. IDENTIFICATION OF SIGNIFICANT INDICATORS FOR ENVIRONMENTAL RESERVE CRITERION OF TERRITORIES ADJOINED TO WASTES STORAGE PLACES BASED	44
Tiniakov D., Zhengqiang Cheng, Jie Liu ANALYSIS OF THE AIRCRAFT NOISE IMPACT ON ENVIRONMENT FOR DETERMINE THE RATIONAL WAYS OF ITS REDUCTION	52
Azarov S., Sydorenko V., Zadunay O. ABOUT ESTIMATION OF SECURITY OF ATOMIC STATIONS OF UKRAINE	58
Kolesnyk V., Pavlychenko A., Buchavyy Yu. UNIFIED METHODOLOGY OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE LEVEL OF ECOLOGICAL HAZARD OF INDUSTRIAL OBJECTS AND EFFICIENCY OF IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES	64
Pospelov B., Andronov V. INVESTIGATION OF A NONCLASSICAL APPROACH TO THE BEST CLASSIFICATION OF ECOLOGICAL HAZARD OF OBJECTS UNDER THE UNKNOWN FUNCTIONS OF LOSSES	70
Kondratenko O. SELECTION OF CRITERIAL APPARATUS FOR COMPLEX ASSESSMENT OF ECOLOGICAL SAFETY LEVEL OF EXPLOITATION PROCESS OF POWER PLANTS	75
Demkiv A., Sydorenko V., Azarov S. LABORATORY STUDIES OF EMISSIONS OF TOXIC COMPOUNDS IN THE PROCESS OF COMBUSTION OF SOLID HOUSEHOLD WASTES	85
Tiutiunyk V., Strelec V., Kalugin V., Zakharchenko Yu. METHODOLOGICAL APPROACH DEVELOPMENT FOR TECHNOGENIC AND ECOLOGICAL ASSESSMENT OF DANGER LEVEL OF FUNCTIONING OF LOCAL TERRITORIES OF UKRAINE	91

СПИСОК АВТОРІВ

Азаров С. І.	58, 85	Костенко І. А.	39
Андронов В. А.	3, 70	Кудин К. О.	33
Балацану К. М.	8	Кудин О. М.	33
Богданов І. Т.	21	Кустов М. В.	28
Бучавий Ю. В.	64	Мунтян В. К.	33
Буяльська Н. П.	39	Нешта А. В.	39
Вамболь В. В.	21	Олійник Т. М.	33
Вамболь С. О.	21	Павличенко А. В.	64
Демків А. М.	85	Поспелов Б. Б.	3, 70
Задунай А. С.	58	Сидоренко В. Л.	58, 85
Захарченко Ю. В.	91	Сичікова Я. О.	21
Зацеркляний М. М.	16	Старчак В. Г.	39
Іваненко К. М.	39	Стрілець В. М.	91
Іордаче Г.	8	Тиняков Д. В.	52
Калугін В. Д.	28, 91	Тютюнник В. В.	91
Колесник В. Є.	64	Цзе Лю	52
Колосков В. Ю.	44	Цибуля С. Д.	39
Кондратенко О. М.	75	Чжэньцян Чен	52

LIST OF AUTHORS

Azarov S.	58, 85	Kostenko I.	39
Andronov V.	3, 70	Kudin K.	33
Balaceanu C. M.	8	Kudin A.	33
Bogdanov I.	21	Kustov M.	28
Buchavyu Yu.	64	Muntyan V.	33
Buyalska N.	39	Neschta A.	39
Vambol V.	21	Oliyunk T.	33
Vambol S.	21	Pavlychenko A.	64
Demkiv A.	85	Pospelov B.	3, 70
Zadunay O.	58	Sydorenko V.	58, 85
Zakharchenko Yu.	91	Suchikova Y.	21
Zatserkliannyi M.	16	Starchak V.	39
Ivanenko K.	39	Strelec V.	91
Iordache G.	8	Tiniakov D.	52
Kalugin V.	28, 91	Tiutiunyk V.	91
Kolesnyk V.	64	Jie Liu	52
Koloskov V.	44	Tsybulia S.	39
Kondratenko O.	75	Zhengqiang Cheng	52

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК

І. П. Прізвище, науковий ступінь, вчене звання, посада
Повна назва ВНЗ (установи, організації, де працює автор)
Повна юридична адреса ВНЗ

І. П. Прізвище, науковий ступінь, вчене звання, посада
Повна назва ВНЗ (установи, організації, де працює автор)
Повна юридична адреса ВНЗ

НАЗВА СТАТТІ (мовою оригіналу, до 10 слів)

Анотація (мовою статті) **10–15 строк**, вирівнювання по ширині сторінки, з абзацним відступом 0,5 см.

Ключові слова: 8-10 слів (мовою статті).

Постановка проблеми. Текст розділу – постановка проблеми у загальному вигляді та її зв’язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Параметри сторінки: всі поля – 2 см. Форматування основного тексту статті у дві колонки з проміжком 1 см. Абзацний відступ 0,5 см, шрифт Time New Roman, кегль 10, одинарний інтервал. Обсяг статті: 5-10 повних сторінок..

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Текст розділу – аналіз досліджень і публікацій за останні 5-7 років в тому числі і іноземних, в яких започатковано розв’язання проблеми, що розглядається автором, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.

Постановка завдання та його вирішення. Текст розділу – формулювання цілей статті (постановка завдання), виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Таблиці подаються в книжній орієнтації, повинні мати тематичну назву, відцентровані. Довжина таблиці не більше однієї сторінки. Для емких таблиць допускається шрифт 8–9 pt. Назва таблиці має бути відцентрованою над таблицею. Приклад оформлення наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Назва таблиці

Поведінка функції	Похибка, %
x^{-N}	25 – 30

Рівняння мають бути пронумеровані

$$\sqrt{\frac{\sum R_i^2}{V^2}} \leq \varepsilon, \quad (1)$$

де V^2 – пояснення.

Рисунки (діаграми, фото та ін.) подаються у чорно-білому зображенні після згадування в тексті. Назву рисунку розміщують під рисунком й відцентровують. Приклад оформлення наведено на рисунку 1.

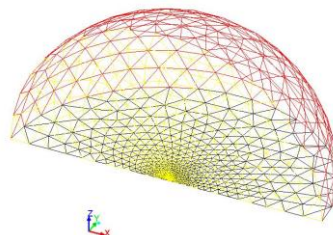


Рисунок 1 – Назва: а – пояснення; б – пояснення

Висновки. Текст розділу – висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Література подається мовою оригіналу у порядку посилань у тексті згідно з ДСТУ 7.1–2006.
2. Самоцититування не більш ніж 30 %.

Стаття надійшла в редакцію ...

И. О. Фамилия
НАЗВАНИЕ СТАТЬИ
Аннотация на русском языке
Ключевые слова:

N. P. Surname
PAPER TITLE
Abstract in English (more 1800 signs)
Keywords:

PAPER FORMATTING REQUIREMENTS

UCD

I. I. Ivanov, academic degree, academic title, position
 The name of the institution (organization where the author works)
 street, building, city, country, postal code

PAPER TITLE (in paper language)

Abstract more 1800 signs, full text justification, paragraph indentation 0.5 cm.
Keywords: 8-10 words (in paper language). The word-combination “Key words” is in bold-faced type.

Problem statement. The section text is the problem setting in general and its connection with the important scientific or practical tasks. Page setup: all fields – 2 cm below. The formatting of the main text in two columns with a gap of 1 cm. Paragraph indentation 0.5 cm., font: Times New Roman, font size 10, single line spacing. The volume of an article: 5-10 full pages.

Analysis of the recent researches and publications. The section text is the analysis of researches and publications for the last 5-7 years including the foreign ones in which solution of the problem, considered by the author, has been initiated; still unsolved aspects of the problem to which the paper is dedicated are identified.

Statement of the problem and its solution. The section text is the formulation of the paper objectives (task setting), presentation of the basic research material with full justification of the scientific results.

Tables are presented in the portrait orientation; they should have a thematic name, to be centred. The table length should not exceed one page. For large tables the font 8-9 pt is allowed. The table caption is given above the table, in the middle of the text. Before the title and after the table a blank line is left. The example of the table1.

Table 1 – Density functions of individual distributions

Behaviour of function	Error, %
x^{-N}	25 – 30

Figures (diagrams, photos, etc.) are submitted in blackand-white image after the reference in the text.

The captions to the picture are not included, in the middle of the text. Before the figure and after its title a blank line is left. The example of the figure 1.

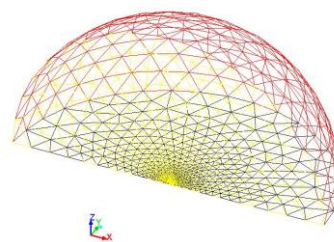


Figure 1 – Drawing title

Equations should be typed in equation editor Microsoft Equation, mathematical style, formula size 10 pt. Do not place them in the tables. The equations longer than 8 cm are divided into blocks (in some cases to fit the page width – 17 cm). The equation numbers are given in parentheses. Before and after the equation a blank line is left

$$\sqrt{\frac{\sum R_i^2}{V^2}} \leq \varepsilon, \tag{1}$$

where V^2 – speed.

Conclusions. The text section is the findings of the study and perspectives for further research in this direction.

REFERENCES

1. Publications in the list of references are given in the original language in the order of citation in the text in accordance with DSTU 7.1–2006.
2. Self-citation of no more than 30%.

The article received by the editorial board (italics right-alignment)...

I. I. Ivanov
PAPER TITLE
 Abstract in Russian
Keywords:

Наукове видання

**Науково-технічний журнал
«ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА»**

Випуск 3 (1/2018)

Головний редактор В. В. Вамболь