

# Безпека життєдіяльності

УДК 504.05

К.Е. Немченко<sup>1</sup>, М.І. Адаменко<sup>2</sup>, Т.Г. Віхтинська<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет ім. В.Н. Карабіна, Харків

<sup>2</sup>Харківська державна академія фізичної культури, Харків

## ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВИКИДІ РАДІАЦІЙНОГО ПИЛУ

У статті запропоновані основи розрахунку еволюції у часі та просторі одного з найбільш важливих чинників ураження радіаційних аварій – радіаційного пилу. Проаналізовано склад пилу за параметрами маси та розміру. Доведено, що дезактивацію територій, що забруднені радіоактивним пилом, необхідно проводити в кілька етапів. Якщо на першому етапі проводиться очищення поверхні, на яку швидко осіли частинки пилу великих розмірів, то на другому етапі необхідно проводити очищення повітря від дуже дрібних частинок, тим більше, що саме ці частки являють собою найбільшу небезпеку для дихальних шляхів. Наведені основи розрахунку терміну вторинних дій. Визначені кількісні межі трьох режимів еволюції радіоактивного пилу в полі тяжіння. Отримані рівняння, які дають опис еволюції частинок пилу довільних розмірів

**Ключові слова:** екологічний вплив, аварія, радіаційний пил, седиментація.

### Вступ

**Актуальність теми.** Викиди радіаційного пилу є одним з найбільш важливих чинників ураження радіаційних аварій. Боротьба з наслідками таких аварій зазвичай зводиться до дезактивації поверхні, на які сів пил. При цьому не враховується той факт, що відносна велика частина пилу, яка складається з частинок найменшого розміру, остається в атмосфері ще дуже довго, і з великою ймовірністю потрапляє до дихальних шляхів людини.

**Постановка проблеми** Проблема обумовлена тим, що на теперішній час не існує методик повної локалізації радіаційного пилу. Проблема ускладнена тим, що необхідно чітко визначити межі екологічного впливу радіаційного пилу, у якому присутні частинки різних розмірів, в залежності від параметрів цих частинок.

**Попередні дослідження та вивчення літератури.** Ця проблема знайшла відображення у багатьох нормативних документах та законодавчих актах і широко обговорюється у науковій та науково-практичній літературі та пресі [1 – 5].

Отже, постає **наукова задача** щодо розрахунку обсягів екологічного забруднення військової техніки при викиді радіаційного пилу – одного з найбільш важливих чинників ураження радіаційних аварій.

### Основний розділ

**Вихідні рівняння, розв'язання задачі.** Задача про підвищення точності прогностичних оцінок радіаційних характеристик радіоактивного забруднення військової техніки, навколишнього середовища і дозових навантажень на персонал і населення входить до числа найважливіших завдань у сфері радіаційної безпеки. Тому, вирішення таких задач потребує вихідних рівнянь руху, що враховують поведін-

ку частинок на всіх масштабах часів і відстаней. Такий підхід дозволяє провести послідовний висновок наближених рівнянь, які потім використовуються для вирішення конкретних завдань. При цьому повне врахування проведених наближень дозволяє оцінити точність отриманих результатів.

Розглянемо радіоактивний пил, як систему зважених у повітрі часток, незважених між собою. Тоді, рух окремо взятої частинки буде описуватися рівнянням Ланжевена [6]:

$$M \frac{dv}{dt} = -bv - Mg + \rho_0 Vg + f_{st}. \quad (1)$$

Тут ми, для простоти, обмежуємося розглядом руху по вертикалі.

Перший доданок в (1) являє собою силу тертя, і коефіцієнт тертя  $b$  з одного боку пов'язаний з коефіцієнтом дифузії  $D$  за допомогою співвідношення Ейнштейна [7]:

$$D = k_B T / b, \quad (2)$$

а, з іншого боку, для сферичних частинок визначається за формулою Стокса [7]:

$$b = 6\pi\eta R, \quad (3)$$

де величина  $\eta$  – в'язкість повітря. Визначити величину коефіцієнта тертя можна за довідковими даними і згідно [8] він дорівнює  $b = 2,85 \cdot 10^{-6} R$  [кг/с].

Другий і третій доданки в (1) визначаються наявністю поля тяжіння, вони відповідають силі тяжіння і силі Архімеда. Величина  $M = \rho V$  – маса частинки;  $V = 4\pi R^3 / 3$  – об'єм;  $R$  – радіус, а  $\rho$  – щільність частинки; величина  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі, а  $\rho_0$  – щільність повітря.

Останній доданок описує внесок випадкових зіткнень молекул повітря з частинкою і представлений як випадкова сила.

Рівняння (1) дозволяє вивести, так зване, рівняння Фоккера-Планка для функції розподілу частинок за швидкостями [9]  $h = h(z, v)$ :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + v \frac{\partial h}{\partial z} - Mg \frac{\partial h}{\partial v} = \frac{b}{T} \frac{\partial}{\partial v} \left\{ \frac{k_B T}{M} v \frac{\partial h}{\partial v} + h \right\}. \quad (4)$$

Рішення цього рівняння [7] в свою чергу дає повну картину еволюції пилу в полі тяжіння з урахуванням дифузії.

**Задача про седиментацію.** Розглянемо задачу про седиментацію – осідання частинок пилу в газі під дією гравітаційного поля. З точки зору рівняння (4) можна виділити три відомих характерних типу еволюції. Для частинок великих розмірів ( $R > 100$  мкм) не встигає відбуватися вихід на стаціонарний режим, і такі частинки падають в полі тяжіння зі зростаючою швидкістю, але зі зменшуваним прискоренням.

Частинки менших розмірів ( $R < 100$  мкм), для яких виконується нерівність, встигають вийти на стаціонарний режим падіння, тобто на режим руху з постійною швидкістю. Для таких частинок рішення рівняння (4) дозволяє вивести рівняння дифузії в полі тяжіння, так зване, рівняння Смолуховського [10]:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{\partial n}{\partial z} + \frac{Mg}{k_B T} n \right\}, \quad (5)$$

де  $n = n(z)$  – кількість частинок в одиниці об'єму.

$$n(z) = \int h(v, z) dv. \quad (6)$$

Рівняння (5) є основним рівнянням для розв'язання поставлених завдань, воно дозволяє з необхідністю ступенем точності визначати часову і просторову еволюцію систем частинок в зовнішніх полях. При цьому зручно переписати це рівняння в іншому вигляді:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + c \frac{\partial n}{\partial z} = \frac{k_B T}{b} \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + \frac{Mg}{b} \frac{\partial n}{\partial z}. \quad (7)$$

У такому вигляді в рівнянні явно виділені два доданка, які відповідають різним фізичним механізмам. Перший – це розмиття, за рахунок явища дифузії з характерним коефіцієнтом дифузії

$$D = k_B T / (6\pi\eta R). \quad (8)$$

Другий доданок описує так зване «знесення» (або «дрейф»), тобто спрямований рух за рахунок зовнішньої сили зі сталою швидкістю

$$c = Mg/b = (2/9) \cdot (\rho R^2 g / \eta). \quad (9)$$

Еволюція системи частинок являє собою конкуренцію цих двох механізмів. При цьому відносний внесок кожного з механізмів визначається, перш за все, розміром частинок. Так частки великих розмірів ( $R > 1$  мкм) будуть з досить великою, але постійною швидкістю рухатися вниз, а частинки дуже маленьких розмірів будуть повільно дифундувати в атмосфері.

Розглянемо розв'язок типової задачі про еволюцію хмари радіоактивного пилу в полі тяжіння. Припустимо, що в початковий момент часу всі частинки знаходилися на деякій висоті  $z_0$ , тобто початкова умова має вигляд:

$$n(z, t = 0) = n_0 \delta(z - z_0), \quad (10)$$

де  $d$  – товщина шару;  $n_0$  – значення щільності в початковий момент часу, а  $\delta(z)$  – функція Дірака.

Як граничну умову вибираємо вимогу рівності нулю потоку частинок на границі

$$j(z = 0, t) = D \frac{\partial n}{\partial z} + cn = 0. \quad (11)$$

Розв'язок цієї задачі [5] має такий вигляд:

$$n(z, t) = \frac{n_0 d}{2\sqrt{\pi D t}} \left\{ \exp\left[-\frac{(z - z_0)^2}{4Dt}\right] + \exp\left[-\frac{(z + z_0)^2}{4Dt}\right] \right\} \times \exp\left[-\frac{c}{2D}\left(z - z_0 + \frac{ct}{2}\right)\right] + \frac{c \cdot n_0 d}{2D} \exp\left(-\frac{cz}{D}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{z - z_0 - ct}{\sqrt{4Dt}}\right), \quad (12)$$

де  $\operatorname{erfc}(x)$  – інтеграл помилок.

Характерні залежності від висоти в певні моменти часу представлені на рис. 1.

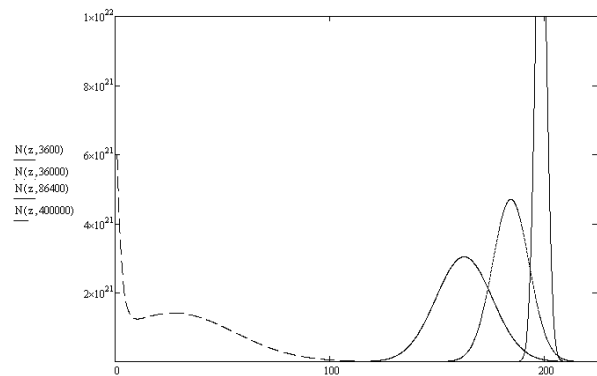


Рис. 1. Приклад просторового розподілення в різні моменти часу

## Висновки

В результаті розв'язка поставленої задачі були визначені кількісні межі трьох режимів еволюції радіоактивного пилу в полі тяжіння. Були отримані рівняння, які дають опис еволюції частинок пилу довільних розмірів.

Основним висновком статті є той факт, що дезактивацію територій, що забруднені радіоактивним пилом, необхідно проводити в кілька етапів. Якщо на першому етапі проводиться очищення поверхні, на яку швидко осіли частинки пилу великих розмірів, то на другому етапі необхідно проводити очищення повітря від дуже дрібних частинок, тим більше, що саме ці частки являють собою найбільшу небезпеку для дихальних шляхів.

## Список літератури

1. Закон України «Про формування, порядок надходження і використання коштів Фонду для здійснення заходів щодо ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи та соціального захисту населення від 10 лютого 2000 року.

2. Указ Президента України від 9 лютого 2001 року № 80/2001 «Про заходи щодо підвищення рівня захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру».

3. Злобин Ю.А. *Агрофитоценология* / Ю.А. Злобин. – Х., 1986. – 225 с.

4. Козубов Г.М. *Чернобыльский лес* / Г.М. Козубов, А.И. Таксаев // *Природа*. – 1991. – № 5.

5. Прусс И. *Здоровье планеты* / И. Прусс // *Знание – сила*, 1993. – № 11.

6. Reif, F. *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics* // McGraw Hill New York, 1965. See section 15.5 Langevin Equation.

7. *Физическая энциклопедия. В 5-ти томах. Гл. ред. А.М. Прохоров.* – М.: Советская энциклопедия, 1988.

8. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 января 2010 г. № 11 "Об утверждении Положения о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население".

9. Ландау Л.Д. *Теоретическая физика. Т. 10. Физическая кинетика* / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1979.

10. Чандрасекар С. *Стохастические проблемы в физике и астрономии* / С. Чандрасекар. – М., 1947. – 159 с.

Надійшла до редколегії 6.10.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.О. Кириченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВЫБРОСАХ РАДИАЦИОННОЙ ПЫЛИ

К.Э. Немченко, М.И. Адаменко, Т.Г. Вихтинская

*В статье предложены основы расчета эволюции во времени и пространстве одного из наиболее важных факторов поражения радиационных аварий – радиационной пыли. Проанализированы состав пыли по параметрам массы и размера. Доказано, что дезактивацию территорий, загрязненных радиоактивной пылью, необходимо проводить в несколько этапов. Если на первом этапе проводится очистка поверхности, на которую быстро осели частицы пыли больших размеров, то на втором этапе необходимо проводить очистку воздуха от очень мелких частиц, тем более, что именно эти частицы представляют собой наибольшую опасность для дыхательных путей. Приведены основы расчета срока вторичных действий. Определены количественные пределы трех режимов эволюции радиоактивной пыли в поле тяжести. Получены уравнения, которые дают описание эволюции частиц пыли произвольных размеров.*

**Ключевые слова:** экологическое воздействие, авария, радиационная пыль, седиментация.

### PROGNOSTICATION OF VOLUMES OF ECOLOGICAL CONTAMINATION OF MILITARY TECHNIQUE AT TROOP LANDINGS OF RADIATION DUST

K.E. Nemchenko, M.I. Adamenko, T.G. Vikhtinskaya

*In the article basis of calculation of the evolution in time and space one of the most important factors in lesions of radiation accidents – radioactive dust is proposed. The composition of the dust mass and size parameters are analyzed. It is shown that decontamination of territories contaminated with radioactive dust, should be carried out in several stages. If the first phase refers to cleaning of the surface, from the larger dust particles, which quickly settled, then during in the second stage one should carry out cleaning of the air from very small particles, since these particles constitute the greatest danger to the respiratory tract. The basis of calculation of these secondary action terms is presented. The three steps of evolution of radioactive dust in the gravitational field are determined. The equations that give the description of the evolution of dust particles of arbitrary size are derived.*

**Keywords:** environmental impact, the accident, radiation dust, sedimentation.