

Ю.О. Кириленко, Київ  
І.П. Каменева, Київ

## КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ НАСЛІДКІВ РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЙ ТА ПОРУШЕНЬ НОРМАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЕС

**Abstract.** This paper is focused concerning issue of radiation impact modelling in terms of liquid radioactive material spills. Analysis of worldwide actual tools, their advantages as well as disadvantages, proposals on completeness of the computer tools integration scheme are represented

### Вступ

Згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2030 року [1] та Комплексною (зведеною) програмою підвищення безпеки енергоблоків АЕС України [2] держава планує підвищити рівень безпеки підприємств атомної галузі. На сьогодні розроблено чимало комп'ютерних засобів для оцінювання кількісних характеристик аварійного викиду із потенційно небезпечних підприємств та його радіологічних наслідків.

У світлі проведення імовірнісного аналізу безпеки для енергоблоків українських АЕС та введення вимог НРБУ-97/Д-2000 [3] щодо потенційного опромінення населення, в останні десятиріччя виникла потреба у більш реалістичному та прецизійному моделюванні таких подій на АЕС як порушення нормальної експлуатації (події, частота реалізації яких може перевищити значенням  $10^{-2}$  1/рік).

Після проведення імовірнісного аналізу безпеки до таких подій віднесено аварії із розливом рідких радіоактивних середовищ (РРС).

Враховуючи ланцюг розповсюдження радіоактивних речовин (рис. 1) доцільно розглянути галузеві та загальногалузеві засоби формування викиду та засоби оцінки радіаційного впливу на населення та персонал.



Рис. 1. Схема об'єктів інтеграції комп'ютерних засобів моделювання

В рамках аналізу для кожної із представлених груп засобів розглянемо 2 етапи дослідження:

- огляд загальних можливостей сучасних засобів моделювання;
- аналіз переваг та недоліків даних засобів з точки зору їх застосування для подій із розливом рідких радіоактивних середовищ.

Кінцевим етапом роботи є формування пропозицій щодо повноти наведеної схеми об'єктів інтеграції комп'ютерних засобів моделювання.

### **Галузеві програмні засоби моделювання викиду**

Для опису транспорту радіонуклідів у замкненому аварійному приміщенні підприємств атомної галузі використовується ряд математичних моделей, що засновані на сумісних процесах тепломасообміну та аеродинаміки. Дані моделі знаходяться у складі інтегральних розрахункових програмних продуктів таких як MELCOR, MAAP, CONTAIN тощо [4]. Дані коди використовують як аналітичні, так і чисельні методи розв'язку, оперуючи емпіричними та напівемпіричними співвідношеннями. За допомогою таких інструментів описується транспорт продуктів ділення ядерного палива, проводиться розрахунок потужності та складу викиду радіоактивних речовин з приміщень аварійного об'єкту в атмосферу. Провідні представники інтегральних кодів цієї групи мають подібну структуру та забезпечують основні етапи моделювання транспорту радіоактивних речовин у технологічних приміщеннях для більшості проектних та запроектованих аварій, які розглядаються в рамках аналізу безпеки АЕС.

Так, наприклад, інтегральний комп'ютерний код інженерного рівня MELCOR моделює протікання важких аварій на атомних станціях з легководними реакторами. Даний код розроблено в Sandia National Laboratories [5] як інструмент регулюючого органу США. Наразі, даний код активно використовується країнами-членами МАГАТЕ, з Україною включно. MELCOR дозволяє моделювати широкий спектр аварійних процесів на реакторній установці. Наряду з такими процесами як тепло-гідрравлічна реакція систем реакторної установки та суміжних споруд, деградація та переміщення паливних мас, взаємодія розплаву з бетоном будівельних конструкцій, генерація, транспортування та спалювання водню тощо, код дозволяє моделювати транспорт продуктів ділення.

В основу моделювання цим кодом входить нодалізаційна схема (рис. 2), тобто просторове розбиття аварійного об'єкту на окремі об'єми за принципом пріоритетності внеску того чи іншого обладнання або приміщення у визначальні параметри аварійного процесу. Тепло-гідрравлічні параметри в рамках одного об'єму у певний момент часу вважаються однаковими. Продукти ділення MELCOR групуються за хімічними властивостями. В рамках одного класу поведінка елементів та їх ізотопів вважається однаковою (табл. 1).

Групування елементів за фізико-хімічними властивостями в коді MELCOR

№ класу MELCOR	Назва класу	Перелік елементів
1	Інертні гази	Xe, Kr, Rn, He, Ne, Ar
2	Лужні метали	Cs, Rb, Li, Na, K, Fr, Cu
3	Група стронцію	Ba, Sr, Be, Mg, Ca, Ra, Es, Fm
4	Галогени	I, Br, F, Cl, At
5	Група телуру	Te, Se, S, O, Po
6	Інертні метали	Ru, Pd, Rh, Ni, Re, Os, Ir, Pt, Au
...	...	...
16	Йодид цезію	Cs, I

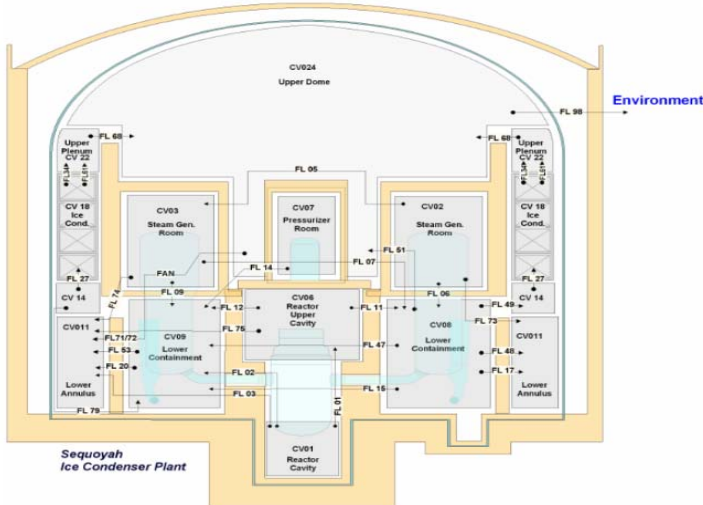


Рис. 2. Загальний вигляд нодалізаційної схеми MELCOR

Інтегральні коди дозволяють успішно провести оцінку радіоактивного викиду в атмосферу, однак, разом з тим, мають ряд недоліків щодо моделювання динамічних процесів транспорту радіонуклідів при аваріях із розливом РРС:

- неврахування процесу радіоактивного розпаду дозоутворюючих радіонуклідів,

- неадекватність отриманих результатів та великі невизначеності при моделюванні середніх та пізніх фаз аварії (в умовах квазістационарного термодинамічного балансу) або при розливі РРС із температурами, що є близькими до температур повітряної фази.

- відсутність опису динаміки випаровування радіоактивних речовин з вільних поверхонь рідин, нехтування термо- та гідродинамічними процесами у прикордонному шарі як рідкої так і повітряної фази (наслідок відсутності деталізованої просторової сітки).

### Загальногалузеві програмні засоби моделювання викиду

Між багатьма прикладними задачами щодо виходу вологи з вільної поверхні рідини при випаровуванні у замкненому приміщенні існує певна аналогія. Наприклад, для визначення кліматичних умов закритих басейнів використовується емпірична модель стаціонарного теплообміну при випаровуванні з урахуванням роботи вентиляційних систем (рис. 3).

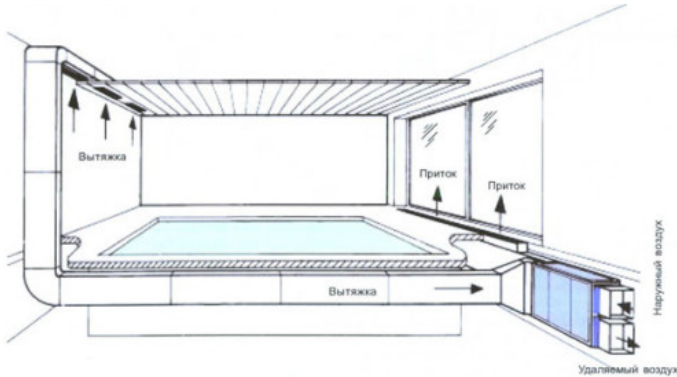


Рис.3. Закритий басейн як об'єкт дослідження кліматичних умов вологовідводу

Баланс тепла та вологи, також, моделюється на етапах проектування гідропарків закритого типу, кліматичного контролю промислових та житлових приміщень. Для вирішення таких задач в кінці минулого сторіччя інженерами-теплофізиками було розроблено ряд методик [6, 7, 8] розрахунку вологовідводу від вільної поверхні рідини. Зазвичай, подібні моделі базуються на емпіричних підходах та мають достатньо вузьку область використання. Але, деякі з них можуть бути використані при розробці теплофізичної моделі випаровування для випадків із розливом не догрітих радіоактивних рідин у замкнених приміщеннях. Проблема нестационарних задач випаровування з відкритих поверхонь рідин неодноразово була описана у різних промислових та непромислових галузях.

В розрахунках вентиляції та кондиціонування повітря у замкнених приміщеннях часто доводиться зустрічатися із визначенням потоку рідини, що випаровується. Процес випаровування, що відбувається при безпосередньому контакті повітря з поверхнею рідини, є комплексним. Він включає в себе явища тепло- та масопереносу, які супроводжується зміною термодинамічного стану рідини та пароповітряної суміші. В гідродинамічній теорії теплообміну широко використовується метод, що потребує знаходження аналітичних виразів для кривих розподілу потенціалу переносу. Дані співвідношення знаходять на основі емпіричних виразів або шляхом приблизного розв'язання диференціальних рівнянь, які описують рух тепла та маси речовини. На практиці, швидкість випаровування для аналітичних підходів розраховується згідно закону Дальтона:

$$G_w = -\beta_{sw} \cdot (p_{sw} - p_m) \cdot S$$

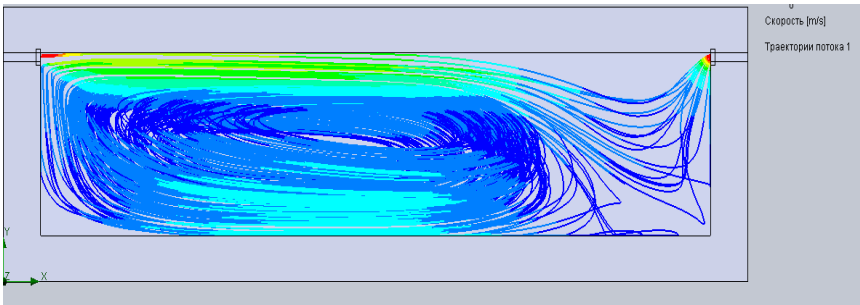
де  $G_w$  – витрата рідини на випаровування, кг;

$\beta_{sw}$  – коефіцієнт масопереносу, нормальний для умов атмосферного тиску,  $\text{Па}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{кг}$ ;

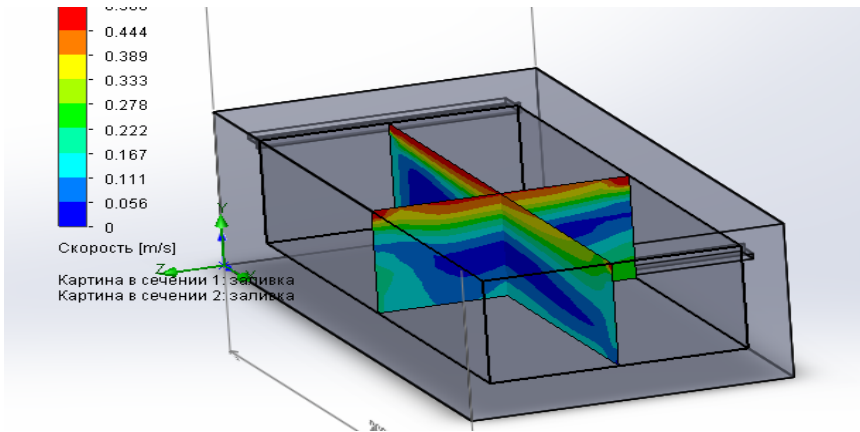
$p_{sw}$ ,  $p_m$  – тиски насичення для температури поверхні випаровування та температури повітря у прикордонному шарі над рідиною, відповідно, Па;

$S$  – площа дзеркала випаровування,  $\text{м}^2$ ;

Математичні моделі нестационарного випаровування з відкритих поверхонь рідин у замкнутих приміщеннях можуть бути відтворені в сучасних операційних модулях FLUENT та CFX пакету ANSYS [9], або за допомогою аналогічних пакетів, наприклад, OpenFOAM [10], SolidWorks (рис. 4) [11], з урахуванням турбулентності.



а)



б)

Рис. 4. Лінії току (а) та поля швидкості потоку (б), що обчислені у середовищі SolidWorks

Математичний розв'язок задачі нестационарного теплообміну в у цих модулях знаходиться чисельним методом скінчених різниць, за допомогою просторової структурованої сітки, що накладається на простір аварійного приміщення. Так, наприклад, вищезгадані частини програмного продукту ANSYS оперують рівняннями масового та енергетичного балансу в умовах вимушеної та природної конвекції повітря в замкненому приміщенні. Для вирішення подібних задач FLUENT та CFX вимагають високої деталізації геометрії приміщення, умов природної конвекції рідини в товщі проливу, аеродинаміки повітря у приміщенні, та інших суміжних процесів, які безпосередньо стосуються об'єктів моделювання.

Дані модулі успішно використовуються експлуатуючими організаціями у всьому світі в частині моделювання тепло-гідравлічних процесів, що пов'язані із елементами активної зони та технологічними контурами атомних станцій. Однак, у зв'язку із відсутністю моделей, що описують транспорт багатокомпонентних радіоактивних повітряних сумішей, даний пакет може застосовуватись як проміжна ланка в рамках оцінки радіаційних наслідків. Хоча, на сьогодні FLUENT та CFX не використовуються для кількісного та якісного моделювання аеродинамічних параметрів повітря технологічних приміщень АЕС України [12], але, вони можуть бути корисними для визначення полів швидкості повітря, концентрацій та вологості як у замкнених приміщеннях так і на локальних рельєфах ближніх зон навколишнього середовища.

### **Засоби моделювання атмосферного переносу та похідних параметрів радіаційного впливу**

Існуючі програмні продукти MicroShield, MCNP, PENELOPE, GEANT, EasyQAD [13] дозволяють частково оцінити параметри радіаційного впливу на персонал та можуть бути застосованими для опису динамічних задач лише з метою розрахунку дози зовнішнього опромінення. Їх використання обмежується визначенням похідних радіаційної обстановки відповідно до геометрії аварійного приміщення, миттєвих значень концентрацій у розливі та повітрі. Інгаліційний шлях опромінення на сьогодні описується лише наявною методологічною базою, відповідно до методик МАГАТЕ, МКРЗ, які наразі не адаптовані для вирішення динамічних задач.

Серед провідних представників програмних засобів оцінки радіаційного впливу на населення та навколишнє середовище виділяють наступні:

- європейські системи підтримки прийняття рішень RODOS (рис. 5, 6) та ARGOS [14],
- американські програми експрес-оцінки HotSpot [15], InterRAS [16] (рис. 7),
- інструмент імовірнісного аналізу MACCS [17].

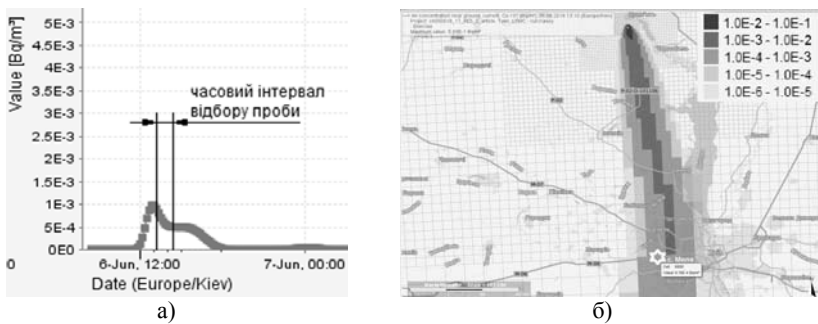


Рис. 5. Результати моделювання наслідків лісових пожеж у Чорнобильській зоні відчуження (червень 2018) з використанням СППР RODOS: миттєва концентрація  $^{137}\text{Cs}$  у приземному шарі повітря: а – локальна динаміка у точці відбору проби (с. Мила); б – поле концентрацій станом на початок відбору проби, Бк/м<sup>3</sup> [18]

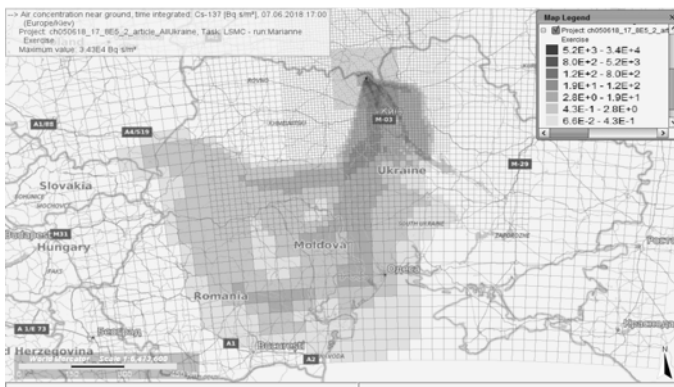


Рис.6. Результати моделювання наслідків лісових пожеж у Чорнобильській зоні відчуження (червень 2018) з використанням СППР RODOS: інтегральна концентрація  $^{137}\text{Cs}$  у приземному шарі повітря Бк · с/м<sup>3</sup> [18]

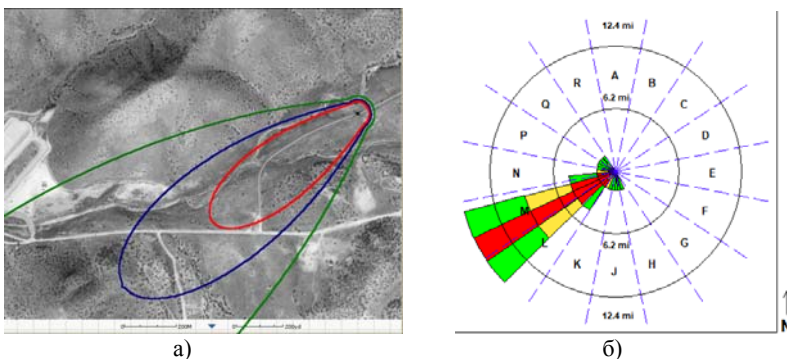


Рис. 7. Результати оцінки з використанням HotSpot та InterRAS

Дані комп'ютерні засоби успішно використовуються з метою прогнозування радіаційного впливу як у реальному часі так і на етапі аварійного планування. В системи підтримки прийняття рішень RODOS та ARGOS інтегровані гаусові, лагранжеві та ейлерові моделі атмосферного переносу, що покривають розрахункові відстані від одиниць до тисяч кілометрів. Отже, вищенаведені засоби при застосуванні в рамках моделювання аварій із розливом РРС не можуть забезпечити комплексного моделювання та аналізу радіаційного впливу у ближній зоні (десятки/сотні метрів). Дане обмеження не дозволяє врахувати ефект аеродинамічного затінення джерела викиду та ефектів атмосферної дисперсії, що характерні для умов нерівномірної висоти рельєфу у ближній зоні.

### **Висновки**

Існуючі комп'ютерні засоби моделювання радіаційного впливу мають ряд недоліків та не охоплюють особливостей моделювання протікання подій із розливом рідких радіоактивних середовищ. Для врахування особливостей моделювання аварій такого типу пропонується

- на прикладі зарубіжного та вітчизняного досвіду, актуальних результатів імовірнісного аналізу безпеки для АЕС України виділити можливі сценарії перебігу аварійних процесів;

- визначити загальні умови та характеристики атмосферного викиду, особливості стратегій ліквідації та реагування при подібних аваріях;

- з метою оцінки рівнів радіоактивного забруднення на об'єкті та кількісних характеристик викиду в оточуюче середовище розробити цілісну математичну модель транспорту радіоактивних речовин у аварійних приміщеннях;

- адаптувати розроблену модель до існуючого програмного інструментарію щодо оцінки доз опромінення персоналу та населення;

- на прикладі ряду демонстраційних розрахунків за репрезентативними аварійними сценаріями описати межі та умови застосування отриманого комплексу комп'ютерних засобів.

1. Енергетична стратегія України до 2030 року. Схвалена розпорядженням КМУ від 24 липня 2013 р. № 1071-р.

2. Комплексна зведена програма підвищення безпеки енергоблоків атомних електростанцій України. Постанова Кабінету Міністрів України №1270 від 07.12.2011 р.

3. Норми радіаційної безпеки України, доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Затверджено МОЗ Наказом №116 від 12 липня 2000 р.

4. *Jacquetain D.* Nuclear Power Reactor Core Melt Accidents: Current State of Knowledge, ISBN : 978-2-7598-1835-8, France, 2015 – 434 pp.

5. Сайт Sandia <https://www.sandia.gov/> (відкритий доступ станом на 02.10.2018)

6. *Волков О.Д.* Вентиляция промышленного здания: [Учебн. пособие] – Х.: Вища шк. Изд-во при ХГУ, 1989 – 240 с.



7. *Нестеренко А.В.* Основы термодинамических расчётов вентиляции и кондиционирования воздуха: [Учебн. пособие]; изд. 3 доп. – М.: Высшая школа, 1971 – 460 с.
8. *Молчанов С.* Проектирование промышленной вентиляции. – Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1970. – 228 с.
9. ANSYS FLUENT 12.0 User's Guide. ANSYS, Inc. is certified to ISO 9001:2008, 2009 – 2070 pp.
10. *Greenshields C.* OpenFOAM User Guide version 6. The OpenFOAM Foundation, 2018 – 237 pp.
11. Сайт Solid Works Flow Simulation <https://hawkridgesys.com/solidworks/> (відкритий доступ станом на 02.10.2018)
12. Додаток до розпорядження НАЕК «Енергоатом» №137-р від 05.02.2018. Перечень разрешенных к использованию в ГП «НАЭК «Энергоатом» расчетных кодов для обоснования безопасности ядерных установок
13. *Azarenkov N.A., Rudychev V.G., Pismenetskiy S.A.* Solid and liquid waste processing and reducing of personnel doses / «Journal of Kharkiv National University» physical series «Nuclei, Particles, Fields», issue 3 /55/, 1017, 2012. – pp.117-122.
14. *Raskob W., Landman C. Trybushnyi D.* Functions of decision support systems (JRodos as an example): overview and new features and products (el source <https://www.radioprotection.org/articles/radiopro/pdf/2016/03/radiopro160015-s.pdf>)
15. HotSpot Health Physics Codes Version 3.0 User's Guide / National Atmospheric Release Advisory Center, LNL, 2014 – 198 pp.
16. RASCAL 4.3 User's Guide / Ramsdell Environmental Consulting, LLC, 2013– 125 pp.
17. WinMACCS, a MACCS2 Interface for Calculating Health and Economic Consequences from Accidental Release of Radioactive Materials into the Atmosphere MACCS User's Guide / U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2007 – 233 pp.
18. *Богорад В.Л., Белов Я.Ю., Кириленко Ю.О.* та ін. Поєднання апаратних засобів мобільної лабораторії RanidSONNI та комп'ютерних технологій СПІР RODOS для прогнозу наслідків виникнення пожежі в зоні відчуження Чорнобильської АЕС / Журнал «Ядерна та радіаційна безпека», 2018. – 3(79). – С.10-15

*Поступила 17.09.2018р.*

УДК 519.7-004.65

М.Ю. Комаров, Київ

## **ПІДСИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДОСТУПОМ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ ORACLE DATABASE 12C ENTERPRISE EDITION**

**Abstract.** Data base; The United Energy – System of Ukraine, Real Application Cluster (RAC), Automatic Control Systems.

### **Актуальність**

Механізми безпеки інформації в системі управління базами даних (далі – СУБД) ORACLE реалізовані засобами захисту від несанкціонованого доступу

© М.Ю. Комаров