

УДК 502.5+614.7:504.3.054:621.311.22
№ держреєстрації 011U102780
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ
НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»
(УКРНДІЕП)
61166, м. Харків, вул. Бакуліна, 6, тел./факс. (057) 702 15 92

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор УКРНДІЕП

Д-р геогр. наук, проф.

А. В. Гриценко
А. В. Гриценко

10 грудня 2019 р.



ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

за темою № 28/2.4

ОЦІНКА ВЗАЄМНОГО ТРАНСКОРДОННОГО ВПЛИВУ АЕС УКРАЇНИ ТА
СУМІЖНИХ КРАЇН

ЕТАП 1 «ЗБІР НЕОБХІДНИХ ДАНИХ ЩОДО ВИКИДІВ ШТУЧНИХ
РАДІОНУКЛІДІВ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ АЕС УКРАЇНИ ТА СУМІЖНИХ
КРАЇН, МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ІНШИХ НЕОБХІДНИХ
ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ДАНИХ»

(проміжний)

Науковий керівник НДР
в.о. зав. лабораторії,
канд. фіз.-мат. наук,
пров. наук. співроб.






В. І. Вітько

В. І. Вітько

2019

Результати роботи розглянуто Вченою радою УКРНДІЕП, протокол від 10
грудня 2019 р. № 7

СПИСОК АВТОРІВ

- Науковий керівник НДР,
В.о. зав. лабораторії, канд. фіз.-мат.
наук, пров. наук. співроб.
- 
(підпис)
- В. І. Вітько
(реферат; розділ 2; висновки)
- Відповідальний виконавець:
Старш. наук. співроб.,
канд. техн. наук
- 
(підпис)
- Г. В. Хабарова
(вступ; розділ 1)
- Виконавці:
Старш. наук. співроб.,
д-р фіз.-мат. наук, проф.
- 
(підпис)
- Г. Д. Коваленко
(вступ; розділ 2)
- Пров. наук. співроб.,
канд. техн. наук
- 
(підпис)
- В. В. Карташов
(розділ 3; висновки)
- Наук. співроб.
- 
(підпис)
- Л. І. Гончарова
(розділ 3)
-

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 135 с., 64 табл., 36 рис., 4 дод., 129 джерел.

ВИКИДИ АЕС, ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ, РАДІОНУКЛІДИ, ДОЗА ОПРОМІНЕННЯ, ТРАНСКОРДОННИЙ ВПЛИВ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Об'єкт дослідження – забруднення атмосферного повітря викидами радіоактивних речовин з АЕС України та суміжних країн.

Мета роботи – дослідження впливу забруднення, в тому числі і у транскордонному контексті, атмосферного повітря викидами радіоактивних речовин АЕС України та суміжних країн.

Методи дослідження – математичне моделювання розповсюдження радіоактивних речовин в атмосферному повітрі; картографічний метод візуалізації забруднення територій.

У роботі зібрано опубліковані дані по викидам радіоактивних речовин з АЕС України та суміжних країн: Чехії, Словаччини, Угорщини, Румунії та Росії. Також зібрані необхідні метеорологічні параметри в районах розташування АЕС.

Вибрані, обґрунтовані та протестовані програми розрахунків викидів з АЕС при нормальних умовах експлуатації та при виникненні аварійних ситуацій.

Проведені тестові розрахунки очікуваних концентрацій, щільності випадіннь та дозових навантажень на людину на сухопутним кордоні України в 12 точках для викидів із Рівненської АЕС.

Показано, що максимально допустимі значення радіаційних параметрів еквівалентних і поглинених доз в органах і на все тіло на кордоні України не перевищуються за умов нормальної експлуатації або у разі виникнення проектної аварійної ситуації на Рівненській АЕС.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ВИКИДІВ ШТУЧНИХ РАДІОНУКЛІДІВ З АЕС УКРАЇНИ І НАЙБЛИЖЧИХ ЗАКОРДОННИХ КРАЇН.....	9
1.1 АЕС України.....	9
1.1.1 Викиди радіонуклідів з Рівненської АЕС.....	9
1.1.2 Викиди радіонуклідів із Запорізької АЕС.....	10
1.1.3 Викиди радіонуклідів із Южно-Української АЕС.....	11
1.1.4 Викиди радіонуклідів з Хмельницької АЕС.....	12
1.2 Викиди радіонуклідів з АЕС Угорщини.....	18
1.3 Викиди радіонуклідів АЕС Румунії.....	20
1.4 Викиди радіонуклідів з АЕС Словаччини.....	22
1.4.1 АЕС Bohunice.....	22
1.4.2 АЕС Mochovce.....	27
1.5 Викиди радіонуклідів АЕС Чеської Республіки.....	31
1.5.1 АЕС Dukovany.....	31
1.5.2 АЕС Temelin.....	33
1.6 Викиди радіонуклідів АЕС Росії.....	36
1.6.1 Ростовская АЕС.....	36
1.6.2 Смоленская АЕС.....	40
1.6.3 Нововоронежская АЕС.....	44
1.6.4 Курская АЕС.....	50
2 ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ.....	54
2.1 Програмний комплекс PC COSYMA.....	54
2.2 Тестування PC COSYMA.....	55
2.3 PC CREAM.....	57
2.3.1 Короткий опис моделі.....	57

2.3.2 Математичні моделі розсіювання шлейфу	59
2.3.4 Виснаження шлейфу	61
2.3.5. Математичні моделі розрахунку доз	66
2.4 Тестування РС CREAM	73
3 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ВП «РІВНЕНСЬКА АЕС».....	81
3.1 Стислий опис початкових умов, що використовуються для оцінки впливу на навколишнє природне середовище та населення викидів радіоактивних речовин в атмосферне повітря	81
3.2 Об'ємні активності радіонуклідів у приземному шарі повітря та випадіння на поверхню ґрунту за умов безаварійного режиму експлуатації	86
3.3 Дози опромінення населення за умов нормального режиму експлуатації	92
3.4 Вплив викидів радіонуклідів на НПС і населення за умов виникнення максимальної проектної аварії (МПА).....	93
3.4.1 Вхідні дані для розрахунку дозових навантажень за умов МПА.....	93
3.4.2 Результати розрахунків для МПА	94
3.4.3 Оцінки радіаційних наслідків МПА відповідно до вимог НРБУ-97	99
3.5 Вплив викидів радіонуклідів на НПС і населення за умов виникнення аварії «Відрив кришки колектору парогенератора – аварійний спайк» (АС)	101
3.5.1 Вхідні дані для розрахунку дозових навантажень за умов АС	101
3.5.2 Результати розрахунків для АС	101
3.5.3 Оцінки радіаційних наслідків АС відповідно до вимог НРБУ-97	106
ВИСНОВКИ	108
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	110
ДОДАТОК А Технічне завдання	123
ДОДАТОК Б Внутрішня рецензія.....	126
ДОДАТОК В Зовнішня рецензія	128
ДОДАТОК Г Витяг з протокола Вченої ради УКРНДІЕП	130

ВСТУП

Основні нормативно-правові акти в галузі якості атмосферного повітря представлені Директивами ЄС [1–3], Модельними законами [4, 5] та "Конвенцією щодо оцінки впливу на навколишнє середовище в трансграничному контексті" [6, 7].

Відповідно до положень Директиви 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21 травня 2008 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи [2] проводиться оцінка та управління якістю атмосферного повітря.

Згідно з п. 27 Директиви 2013/59/Євратом від 5 грудня 2013 року про встановлення основних норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання [8], «оскільки стан довкілля може впливати на здоров'я людини у довготривалій перспективі, виникає потреба в політиці захисту довкілля від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання. З метою довгострокового захисту здоров'я людини необхідно враховувати екологічні критерії, що базуються на міжнародно визнаних наукових даних (такі як ті, що опубліковані ЄС, МКРЗ [9], Науковим комітетом ООН з дії атомної радіації і [10], Міжнародним агентством з атомної енергії (МАГАТЕ) [11].

Рекомендацією Комісії 2004/2/Євратом [12] запроваджено стандартизовану інформацію для повідомлення даних щодо скидів та викидів з атомних електростанцій та установок з перероблення відпрацьованого ядерного палива для передачі даних Комісії згідно зі статтею 36 Договору про Євратом. Згідно зі статтею 35 Договору про Євратом [13] та Директиви 2011/92/ЄС [14] держави-члени повинні забезпечити наявність відповідної програми моніторингу рівня радіоактивності в довкіллі. Відповідно до статті 36 Договору про Євратом держави-члени повинні повідомляти Комісії результати такого моніторингу.

Відповідно до ст. 20 Модельного закону про охорону атмосферного повітря, затвердженого на XII пленарному засіданні Міжпарламентської Асамблеї держав-

учасників СНД (Постанова № 12-12 від 8 грудня 1998 р.) [4], з метою зменшення транскордонного забруднення атмосферного повітря джерелами викидів забруднюючих речовин, розташованих на території держави, держава забезпечує проведення заходів по зменшенню викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, а також здійснює інші заходи відповідно до міжнародних зобов'язань в галузі охорони атмосферного повітря.

Міжнародне співробітництво в галузі охорони атмосферного повітря здійснюється відповідно до принципів (ст. 33), встановленими міжнародними договорами в галузі охорони атмосферного повітря [4].

Відповідно до вимог п.3 ст. 13 Модельного закону про оцінку впливу на навколишнє середовище СНД, прийнятого на 35-му пленарному засіданні Міжпарламентської Асамблеї держав-учасниць СНД, міжнародний документ (Постанова N 35-12 від 28 жовтня 2010 р.) [5] важливо проводити оцінку впливу на навколишнє середовище згідно дотримання екологічних вимог і враховувати:

- рівень екологічної небезпеки виробничих процесів, виробленої продукції і відходів, що утворюються (викидів);
- можливий екологічний ризик планованої діяльності, що включає оцінку впливу об'єкта на навколишнє середовище при нормальному режимі експлуатації об'єкта і при виникненні аварій, в тому числі і транскордонних характер впливу;
- перелік необхідних природоохоронних заходів;
- критерії екологічного ризику планованої господарської та іншої діяльності, яка має негативний вплив на навколишнє середовище. п.4.10 оцінку екологічних ризиків для здоров'я населення.

Відповідно до п. 2 Дод. I "Конвенції щодо оцінки впливу на навколишнє середовище в трансграничному контексті", ратифікованої Законом України № 534-XIV від 19.03.1999 р. [6], проводиться оцінка впливу на навколишнє середовище запланованого виду діяльності, які можуть призводити до значного шкідливого транскордонного впливу.

Відповідно до вимог Директив 2014/52/ЄС [13] та 2001/42/ЄС про оцінку впливу окремих державних і приватних проектів на навколишнє середовище [15]

проводиться «...оцінка екологічних наслідків державних і приватних проектів, які, ймовірно, матимуть значний вплив на навколишнє середовище. ОВНС здійснюється для всіх проектів, зазначених у Додатку I до Директиви [15], які розглядаються як такі, що мають значний вплив на навколишнє середовище і потребують оцінки впливу на довкілля, в тому числі і атомні електростанції».

В Україні відносини в галузі охорони атмосферного повітря регулюються законами України "Про охорону атмосферного повітря" [16], "Про охорону навколишнього природного середовища" [17] та іншими нормативно-правовими актами.

Регулювання відносин у галузі охорони забезпечення екологічної безпеки, запобігання і ліквідації негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище, в тому числі і транскордонний характер забруднення, є основним завданням законодавства про охорону навколишнього природного середовища.

Відповідно до ст. 5 Закону України "Про охорону атмосферного повітря" [16] встановлено порядок розроблення та затвердження нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря, який визначає механізм розроблення та затвердження науково обґрунтованих нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря (ст. 7) з урахуванням вимог міжнародних стандартів, норм, рекомендацій з метою уникнення, зменшення чи запобігання негативним наслідкам забруднення атмосферного повітря. Для оцінки стану атмосферного повітря встановлюються єдині для території України нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря.

Крім зазначених документів забруднення атмосферного повітря радіоактивними речовинами регламентується Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) [18] та Санітарними правилами проектування та експлуатації атомних станцій (СПАС-88) [19].

ІОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ВИКИДІВ ШТУЧНИХ РАДІОНУКЛІДІВ З АЕС УКРАЇНИ І НАЙБЛИЖЧИХ ЗАКОРДОННИХ КРАЇН

У звіті наведені параметри викидів АЕС України та найближчих країн: Чехії, Словаччини, Угорщини, Румунії й Росії. Також розглянуті метеопараметри, які впливають на поширення викидів в атмосфері.

1.1 АЕС України

Станом на 2018 рік в Україні знаходиться в експлуатації чотири АЕС з 15 діючими блоками: Запорізька АЕС – шість блоків ВВЕР-1000, Южно-Українська АЕС – три блоки ВВЕР-1000, Хмельницька АЕС – два блоки ВВЕР-1000, Рівненська АЕС – два блоки ВВЕР-440 та два блоки ВВЕР-1000. Відстані від АЕС України до суміжних країн наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Відстані від АЕС України до суміжних країн [20]

Країни	Відстані від АЕС, км			
	ЗАЕС	РАЕС	ХАЕС	ЮУАЕС
РФ	250	405	405	425
Румунія	450	345	230	250
Угорщина	875	420	370	620
Словаччина	910	350	325	655

1.1.1 Викиди радіонуклідів з Рівненської АЕС

Середньорічні викиди радіонуклідів із РАЕС при нормальних умовах експлуатації наведені в табл. 1.2 [21].

Таблиця 1.2 – Викиди радіонуклідів із РАЕС

Групи радіонуклідів	Найменування радіонуклідів	Викид, Бк/рік
ІРГ	^{88}Kr	2,35E +12
	^{133}Xe	1,69E +13
	^{135}Xe	4,23E +12
Йод	^{131}I	9,43E +07
	^{133}I	5,04E+07
	^{135}I	1,31E+07
ДЖН	^{137}Cs	6,28E+06
	^{134}Cs	9,66E+05
	^{60}Co	7,27E+06
	^{58}Co	1,09E+06
	^{54}Mn	1,22E+06
	^{51}Cr	4,56E+06
	^{90}Sr	2,60E+05
	^{59}Fe	3,28E+05
	^{95}Zr	5,80E+05
	^{95}Nb	2,23E+05
	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	4,71E+06
Тритій	^3H	1,01E+12
Радіовуглець	^{14}C	1.99E+11

1.1.2 Викиди радіонуклідів із Запорізької АЕС

Величини викидів радіоактивних речовин із ЗАЕС при нормальних умовах експлуатації наведені у табл. 1.3 [22].

Таблиця 1.3 – Викиди радіонуклідів із ЗАЕС

Радіонуклід (група радіонуклідів)	Середньодобове значення викиду, ГБк/доба
ІРГ	9,02E+01
Радіойод	2,39E-04
Cr-51	6,50E-05
Mn-54	7,31E-06
Fe-59	1,42E-05
Co-58	7,92E-06
Co-60	2,47E-05
Sr-89	2,40E-05
Sr-90	1,31E-06
Zr-95	1,22E-05
Nb-95	9,24E-06
Ag-110m	1,31E-05
Cs-134	1,12E-05
Cs-137	1,96E-05

1.1.3 Викиди радіонуклідів із Южно-Української АЕС

В табл. 1.4 наведені величини викидів радіоактивних речовин в атмосферу від ЮУАЕС. Наведені величини розраховані на базі фактичних даних щодо викидів інертних радіоактивних газів (ІРГ), ізоотопів йоду (йод), довгоживучих нуклідів (ДЖН) Южно-Української АЕС. У розрахунках враховані також викиди з АЕС тритію та радіоактивного вуглецю, викиди яких не контролюються прямими вимірюваннями. Ізотопний склад ІРГ, йоду та ДЖН розрахований відповідно до існуючих джерел [23], якщо ізоотопи не вимірюються прямими вимірюваннями на АЕС.

Таблиця 1.4 – Викиди радіоактивних речовин з ЮУАЕС, які використовуються для розрахунків

Радіонуклід	Викиди з ЮУАЕС, Бк/рік
Cs-137	4,67E+06
Cs-134	1,50E+06
Co-60	1,12E+07
Co-58	2,20E+06
Mn-54	4,22E+06
Cr-51	9,36E+06
Sr-90	9,03E+05
Fe-59	1,74E+05
Zr-95	1,16E+05
Nb-95	2,90E+05
Ag-110m	1,05E+06
H-3	2,22E+13
C-14	2,07E+11
Kr-87	3,05E+12
Xe-133	2,20E+13
Xe-135	5,49E+12
I-131	1,81E+08
I-133	9,65E+07
I-135	2,50E+07

1.1.4 Викиди радіонуклідів з Хмельницької АЕС

Величини викидів радіоактивних речовин Хмельницької АЕС (ХАЕС) наведені у табл. 1.5 [24, 25]. Наведені величини розраховані на базі фактичних

даних щодо викидів інертних радіоактивних газів (ІРГ), ізотопів йоду (йод), довгоживучих нуклідів ХАЕС.

Таблиця 1.5 – Викиди радіоактивних речовин ХАЕС

Радіонуклід	Викиди з ХАЕС, ТБк/рік
ІРГ	19,0
ДЖН	13,6E+06
I-131	39,5E+06
Cs-137	1,80E+06

Таблиця 1.6 – Викиди радіоактивних речовин ХАЕС [26]

Радіонуклід	Викиди з ХАЕС, Бк/рік
Ar-41	3,85E+10
Xe-133	1,21E+13
H-3	2,85E+10
Sr-90	1,34E+01
Cs-137	4,97E+05
Kr-85	3,15E+09

Таблиця 1.7 – Викиди радіоактивних речовин ХАЕС [27]

Радіонуклід	Викиди з ХАЕС, Бк/рік	Радіонуклід	Викиди з ХАЕС, Бк/рік
^3H	1,42E+10	^{101}Tc	9,77E+03
^{24}Na	6,40E+05	^{103}Ru	1,05E+02
Ar	3,05E+12	^{106}Ru	5,37E+00
^{51}Cr	2,34E+04	^{106}Rh	1,75E+02
^{54}Mn	3,40E+03	^{131}Sb	1,86E+03
^{55}Fe	2,02E+04	^{131m}Te	4,00E+01
^{56}Mn	3,09E+04	^{131}Te	3,15E+03

Продовження таблиці 1.7

Радіонуклід	Викиди з ХАЕС, Бк/рік	Радіонуклід	Викиди з ХАЕС, Бк/рік
^{58}Co	2,30E+03	^{131}I	2,21E+06
^{59}Fe	3,56E+02	$^{131\text{m}}\text{Xe}$	1,85E+11
^{60}Co	3,16E+05	^{132}Sn	4,37E+01
^{84}Br	1,89E+05	$^{132\text{m}}\text{Sb}$	4,22E+01
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	7,62E+10	^{132}Sb	9,25E+02
^{85}Kr	6,48E+10	^{132}Te	1,55E+02
^{87}Br	5,00E+02	^{132}I	2,75E+06
^{87}Kr	1,59E+09	^{133}Sb	1,12E+03
^{88}Kr	1,31E+10	$^{133\text{m}}\text{Te}$	2,55E+03
^{88}Rb	1,04E+08	^{133}Te	3,33E+03
^{89}Kr	8,36E+07	^{133}I	4,03E+06
^{89}Rb	7,62E+05	$^{133\text{m}}\text{Xe}$	1,14E+08
^{89}Sr	2,66E+03	^{133}Xe	7,84E+12
^{90}Kr	8,21E+06	^{134}Te	4,44E+04
$^{90\text{m}}\text{Rb}$	9,32E+03	^{134}I	1,30E+06
^{90}Rb	7,33E+04	^{134}Cs	1,65E+06
^{90}Sr	6,70E+00	^{135}I	3,12E+06
^{90}Y	2,52E-01	$^{135\text{m}}\text{Xe}$	3,66E+10
^{91}Rb	2,51E+03	^{135}Xe	4,14E+11
^{91}Sr	3,43E+02	^{137}Xe	3,67E+07
$^{91\text{m}}\text{Y}$	1,13E+03	^{137}Cs	1,72E+06
^{91}Y	7,33E+02	^{138}Xe	2,93E+09
^{92}Y	5,77E+02	^{138}Cs	2,03E+07
^{93}Sr	1,33E+03	^{139}Cs	8,64E+04
$^{93\text{m}}\text{Y}$	5,18E+02	^{139}Ba	8,73E+04
^{93}Y	3,68E+02	^{140}La	7,84E+02
^{95}Zr	4,48E+02	^{140}Ba	4,14E+02

Продовження таблиці 1.7

Радіонуклід	Викиди з ХАЕС, Бк/рік	Радіонуклід	Викиди з ХАЕС, Бк/рік
^{95m}Nb	6,48E+01	^{141}La	3,64E+03
^{95}Nb	1,07E+02	^{141}Ce	2,07E+02
^{97}Zr	1,10E+03	^{141}Ba	5,07E+03
^{97m}Nb	2,06E+03	^{142}Ba	2,57E+03
^{97}Nb	7,03E+03	^{142}La	3,61E+03
^{99}Nb	1,27E+01	^{143}La	2,82E+03
^{99}Mo	1,67E+01	^{143}Ce	7,84E+02
^{101}Mo	5,40E+03	^{144}Ce	4,51E+01
^{144m}Pr	1,44E+02	^{144}Pr	1,41E+03
^{146}Ce	1,15E+03	^{145}Pr	7,77E+02
^{145}Ce	7,33E+02	^{146}Pr	1,01E+03

В табл. 1.8 наведені середньорічні викиди радіоактивних речовин атомних електростанцій України за 2014 р. [27, 28]

Таблиця 1.8 – Середньорічні викиди із АЕС України

АЕС	ЗАЕС	РАЕС	ЮУАЕС	ХАЕС
Середньорічні викиди ^{131}I , МБк/рік	86,5	261,6	43,2	39,5
Середньорічні викиди ^{137}Cs , МБк/рік	8,7	7,7	2,4	1,8
Середньорічні викиди ІРГ, ТБк/рік	29,2	50,0	22,1	19,0
Середньорічні викиди ДЖН, МБк/рік	304	170,4	25	13,6

Таблиця 1.9 – Розподіл частоти повторюваності категорій стабільності атмосфери у місці розташування ЗАЕС

	Півн.	Півн. Півн.Сх	Півн.Сх	Сх. Півн.Сх	Сх.	Сх. Півд.Сх	Півд.Сх	Півд. Півд.Сх	Півд.	Півд. Півд.За х.	Півд.За х.	Зах. Півд.За х.	Зах.	Зах. Сх.Зах.	Півн.За х.	Півн.Півн.Зах.
A	8,53E-04	6,50E-04	1,23E-03	6,53E-04	1,56E-03	3,47E-04	7,33E-05	7,67E-05	2,10E-04	2,03E-04	1,57E-04	1,70E-04	3,23E-04	8,07E-04	6,43E-04	6,87E-04
B	6,66E-03	9,32E-03	1,39E-02	1,48E-02	1,66E-02	4,60E-03	2,69E-03	2,25E-03	2,14E-03	2,75E-03	3,70E-03	3,81E-03	4,79E-03	6,19E-03	6,28E-03	5,24E-03
C	9,25E-03	8,70E-03	1,39E-02	1,78E-02	1,64E-02	3,55E-03	2,62E-03	3,59E-03	3,10E-03	4,27E-03	4,30E-03	6,37E-03	7,15E-03	7,63E-03	1,00E-02	8,56E-03
D	1,93E-02	1,82E-02	3,05E-02	3,40E-02	2,85E-02	1,43E-02	1,73E-02	1,91E-02	1,81E-02	2,22E-02	2,02E-02	1,88E-02	1,78E-02	1,78E-02	2,44E-02	1,51E-02
E	1,03E-02	9,53E-03	2,10E-02	1,94E-02	1,33E-02	8,68E-03	8,12E-03	7,62E-03	7,10E-03	6,79E-03	9,08E-03	5,88E-03	5,43E-03	7,92E-03	1,07E-02	8,84E-03
F	1,86E-02	1,56E-02	1,67E-02	8,65E-03	1,09E-02	5,68E-03	9,30E-03	9,60E-03	7,06E-03	7,17E-03	1,09E-02	6,43E-03	1,94E-03	3,53E-03	6,41E-03	8,90E-03
C (rain)	3,32E-03	1,43E-03	3,27E-03	4,93E-03	4,11E-03	1,21E-03	1,23E-03	1,29E-03	8,77E-04	9,87E-04	1,14E-03	9,92E-04	7,93E-04	1,71E-03	1,67E-03	1,42E-03
D (rain)	6,74E-03	2,95E-03	7,32E-03	8,95E-03	6,93E-03	5,07E-03	8,29E-03	5,76E-03	5,84E-03	6,02E-03	6,14E-03	2,80E-03	2,00E-03	4,10E-03	3,88E-03	2,47E-03

Таблиця 1.10 – Розподіл частоти повторюваності категорій стабільності атмосфери у місці розташування РАЕС та ХАЕС

	Півн.	Півн. Півн.Сх	Півн.Сх	Сх. Півн.Сх	Сх.	Сх. Півд.Сх	Півд.Сх	Півд. Півд.Сх	Півд.	Півд. Півд.За х.	Півд.За х.	Зах. Півд.За х.	Зах.	Зах. Сх.Зах.	Півн.За х.	Півн.Півн.Зах.
A	1,84E-03	1,78E-03	1,99E-03	1,63E-03	1,83E-03	2,08E-03	2,48E-03	2,17E-03	1,73E-03	1,45E-03	1,33E-03	9,72E-04	8,78E-04	1,20E-03	1,84E-03	1,90E-03
B	6,87E-03	6,59E-03	7,59E-03	4,86E-03	6,09E-03	6,46E-03	8,02E-03	7,85E-03	7,19E-03	5,19E-03	4,94E-03	3,56E-03	2,50E-03	3,65E-03	7,95E-03	9,18E-03
C	6,64E-03	7,07E-03	9,72E-03	7,10E-03	8,61E-03	7,32E-03	8,37E-03	7,94E-03	6,33E-03	5,77E-03	5,82E-03	4,77E-03	2,70E-03	3,76E-03	7,48E-03	8,94E-03
D	1,66E-02	1,96E-02	2,91E-02	2,92E-02	2,86E-02	1,95E-02	1,86E-02	1,51E-02	1,47E-02	1,69E-02	1,57E-02	1,49E-02	8,71E-03	1,48E-02	2,04E-02	2,32E-02
E	5,55E-03	4,76E-03	6,92E-03	7,30E-03	7,56E-03	5,09E-03	4,47E-03	4,34E-03	4,34E-03	4,51E-03	4,14E-03	4,72E-03	2,84E-03	6,13E-03	7,10E-03	8,36E-03
F	2,64E-02	2,98E-02	3,21E-02	2,32E-02	2,44E-02	1,56E-02	1,67E-02	1,14E-02	1,29E-02	1,54E-02	2,14E-02	1,50E-02	9,83E-03	1,65E-02	2,67E-02	2,92E-02
C (rain)	7,37E-04	7,86E-04	1,08E-03	7,89E-04	9,57E-04	8,13E-04	9,30E-04	8,82E-04	7,03E-04	6,41E-04	6,47E-04	5,30E-04	3,00E-04	4,18E-04	8,31E-04	9,94E-04
D (rain)	1,85E-03	2,18E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,18E-03	2,17E-03	2,06E-03	1,68E-03	1,63E-03	1,87E-03	1,74E-03	1,65E-03	9,68E-04	1,64E-03	2,27E-03	2,58E-03

Для ЗАЕС використовуються наступні параметри: опади – 476,1 мм/рік, шар атмосфери, що переміщується, – 560 м, середня температура – 11,3°C.

Для РАЕС та ХАЕС використовуються наступні параметри: опади – 563,79 мм/рік, шар атмосфери, що переміщується, – 560 м, середня температура – 8,94°C.

Таблиця 1.11 – Розподіл частоти повторюваності категорій стабільності атмосфери у місці розташування ЮУАЕС

	Півн.	Півн. Півн.Сх	Півн.Сх	Сх. Півн.Сх	Сх.	Сх. Півд.Сх	Півд.Сх	Півд. Півд.Сх	Півд.	Півд. Півд.Зах.	Півд.Зах.	Зах. Півд.Зах.	Зах.	Зах. Сх.Зах.	Півн.Зах.	Півн.Півн.Зах.
A	8,50E-04	6,40E-04	1,49E-03	4,20E-04	2,13E-03	2,10E-04	0,00E+00	0,00E+00	4,20E-04	4,30E-04	0,00E+00	2,10E-04	4,20E-04	1,28E-03	6,40E-04	4,20E-04
B	7,23E-03	8,93E-03	1,38E-02	1,08E-02	1,97E-02	2,56E-03	2,19E-03	6,40E-04	1,28E-03	2,29E-03	4,25E-03	5,54E-03	4,92E-03	6,61E-03	5,33E-03	7,24E-03
C	1,28E-02	7,77E-03	5,32E-03	9,91E-03	2,06E-02	4,51E-03	2,83E-03	2,38E-03	4,61E-03	4,66E-03	5,34E-03	8,05E-03	7,10E-03	9,11E-03	9,71E-03	1,10E-02
D	2,37E-02	1,60E-02	1,36E-02	1,64E-02	3,11E-02	1,28E-02	1,69E-02	2,18E-02	2,63E-02	2,52E-02	2,95E-02	2,83E-02	2,31E-02	2,93E-02	3,20E-02	1,70E-02
E	1,26E-02	9,85E-03	1,88E-02	1,47E-02	6,70E-03	9,48E-03	7,87E-03	5,04E-03	8,94E-03	3,73E-03	1,06E-02	7,72E-03	5,20E-03	1,10E-02	8,36E-03	1,02E-02
F	2,09E-02	1,28E-02	1,32E-02	4,34E-03	6,84E-03	3,83E-03	6,02E-03	6,94E-03	9,41E-03	7,75E-03	1,50E-02	7,09E-03	2,14E-03	2,56E-03	5,56E-03	7,70E-03
C (rain)	6,19E-03	1,85E-03	3,30E-03	3,94E-03	3,29E-03	1,23E-03	1,27E-03	4,35E-04	9,60E-04	9,65E-04	1,16E-03	1,03E-03	8,02E-04	2,16E-03	1,18E-03	6,85E-04
D (rain)	1,15E-02	3,80E-03	8,42E-03	6,53E-03	4,98E-03	3,48E-03	7,57E-03	4,00E-03	5,48E-03	5,21E-03	6,44E-03	3,64E-03	2,61E-03	6,94E-03	3,87E-03	1,06E-03

Для ЮУАЕС використовуються наступні параметри: опади – 510 мм/рік, шар атмосфери, що переміщується, – 560 м, середня температура – 11,1°C.

1.2 Викиди радіонуклідів з АЕС Угорщини

АЕС Paks – єдина діюча атомна електростанція в Угорщині. Станція розташована в 100 кілометрах від Будапешта, в 5 км від міста Пакша. Географічне положення Paks АЕС $46^{\circ}34'21''\text{N}$, $18^{\circ}51'15''\text{E}$. Станція побудована за радянським проектом, всі 4 реактора – типу ВВЕР-440. Планується будівництво двох реакторів ВВЕР-1200. На АЕС Paks виробляється понад 42 % всієї електроенергії, що виробляється в країні. Загальна електрична потужність АЕС Paks складає 1940 МВт (див. табл. 1.12, рис. 1.1) [29].



Рисунок 1.1 – АЭС Paks

В таблиці 1.12 наведено загальні характеристики АЕС Paks.

Таблиця 1.12 – Загальні характеристики АЕС Paks

Енергоблок	Тип реактору	Введення в експлуатацію	Потужність, МВт	Паливо
1	ВВЕР-440/213	1974	500	ТВЕЛ
2	ВВЕР-440/213	1974	470	ТВЕЛ
3	ВВЕР-440/213	1979	470	ТВЕЛ
4	ВВЕР-440/213	1979	500	ТВЕЛ

Продовження таблиці 1.12

Енергоблок	Тип реактору	Введення в експлуатацію	Потужність, МВт	Паливо
5 [29]	ВВЕР-1200/527	Будівництво розпочнеться в 2019 році [30].	1200 МВт	
6 [30]	ВВЕР-1200/527	Будівництво розпочнеться в 2019 році [31].	1200 МВт	

В таблиці 1.13 наведено викиди при нормальних умовах експлуатації АЕС Paks.

Таблиця 1.13– Викиди АЕС Paks, Бк/рік

Радіонуклід	Викиди, Бк/рік	Радіонуклід	Викиди, Бк/рік
^3H	7,80E+12	^{134}I (aerosol)	4,40E+07
^{14}C (CO_2)	3,00E+10	^{135}I (aerosol)	7,53E+07
^{14}C (organic)	5,70E+11	^{131}I (elemental)	4,85E+07
$^{83\text{m}}\text{Kr}$	1,34E+12	^{132}I (elemental)	6,46E+07
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	4,56E+12	^{133}I (elemental)	9,20E+07
^{85}Kr	7,12E+11	^{134}I (elemental)	4,40E+07
^{87}Kr	2,76E+12	^{135}I (elemental)	7,53E+07
^{88}Kr	1,01E+13	^{51}Cr	1,57E+05
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	4,98E+11	^{54}Mn	9,66E+03
^{133}Xe	4,62E+13	^{60}Co	6,20E+04
^{135}Xe	1,51E+13	^{89}Sr	6,50E+05
^{138}Xe	5,72E+11	^{90}Sr	1,19E+03
^{131}I (aerosol)	4,85E+07	^{134}Cs	4,07E+07
^{132}I (aerosol)	6,46E+07	^{137}Cs	6,06E+07
^{133}I (aerosol)	9,20E+07		

Викиди АЕС Paks утворюються на висоті 100 м (димохід) і на висоті 40 м (будівля турбіни) при нормальних умовах експлуатації. В якості основи для АЕС «Paks» використовувалася ефективна висота викиду 120 м і дані метеорологічної вишки 120 м.

Загальні метеорологічні дані.

- ✓ Стабільність (Pasquill) категорія: D.
- ✓ Швидкість вітру: 5 м /с (18 км/год).
- ✓ Оподи: 1 мм/год [32–34].

1.3 Викиди радіонуклідів АЕС Румунії

АЕС Cernavodă (рум. *Centrala Nucleară de la Cernavodă*) – атомна електростанція в Румунії, найбільший виробник електроенергії країни. Розташована на території однойменної міськради Чернаводе. Географічне розташування АЕС Cernavoda: 44°19'20" N, 28°03'26" E. Загальна електрична потужність АЕС Cernavoda складає 1400 МВт (див. табл. 1.14, рис. 1.2). Перша та єдина АЕС в країні.



Рисунок 1.2 – АЕС Cernavoda

Станція була спроектована канадською державною компанією Atomic Energy of Canada Limited (AECL) в 1980-х роках [35]. АЕС використовує важководні водо-водяні реактори PHWR від AECL. В якості сповільнювача нейтронів використовується важка вода, вироблена в місті Дробета-Турну-Северин (випускається і в м. Турну-Мегуреле) [36], а для охолодження - вода з каналу «Дунай - Чорне море». Середньорічне виробництво станції – 5.613 ГВт·ч. Це приблизно від 18% до 20% електроенергії, щорічно споживаної Румунією.

В таблиці 1.14 наведено загальні характеристики АЕС Cernavoda.

Таблиця 1.14 – Загальні характеристики АЕС Cernavoda

Енергоблок	Тип реактору	Введення в експлуатацію	Потужність, МВт	Закриття
1	PHWR (CANDU-6)	1982	651	
2	PHWR (CANDU-6)	1983	655	
3	PHWR (CANDU)[37]	1984		01.12.1990: будівництво зупинено
4	PHWR (CANDU) [38]	1985		01.12.1990: будівництво зупинено
5	PHWR (CANDU) [39]	1987		01.12.1990: будівництво зупинено
6	PHWR (CANDU) [40]		750 МВт	Будівництво
7	PHWR (CANDU) [41]		750 МВт	Будівництво

Викиди радіонуклідів АЕС Cernavoda за період 2013-2017 рр. наведені в табл. 1.15.

Таблиця 1.15 – Викиди радіонуклідів АЕС Cernavoda за період 2013-2017 рр., ГБк [42]

Радіонуклід	2013	2014	2015	2016	2017	Середнє
C-14	4,10E+02	3,99E+02	4,75E+02	3,32E+02	3,86E+02	4,00E+02
H-3	3,19E+05	4,05E+05	2,64E+05	3,46E+05	2,98E+05	3,26E+05

1.4 Викиди радіонуклідів з АЕС Словаччини

В 2016 році в Словаччині всього було вироблено 27 ТВтч, з цього 14,8 ТВтч (55%) – від атомної енергетики, з гідроенергетики – 4,6 ТВтч (17%), на вугіллі – 3,3 ТВтч (12%), на біопаливі і відходах – 1,8 ТВтч, на газу – 1,5 ТВтч і сонячна енергетика забезпечує 0,5 ТВтч.

1.4.1 АЕС Bohunice

АЕС Bohunice - атомна електростанція в Західній частині Словаччини. Станція розташована поблизу селища Ясловске Богунице в 14 км на північ від Трнави. Географічне розташування АЕС Bohunice (див. рис.1.3): 48°29'49" пн. ш. 17°41'01" сх. д. На території станції знаходиться енергоблок А1 з важководним реактором з газовим охолодженням спільного радянсько-чехословацького проекту КС-150 [43–44].

В таблиці 1.16 наведено загальні характеристики АЕС Cernavoda.

Таблиця 1.16–Загальні характеристики АЕС Bohunice

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність, МВт	Введення в експлуатацію	Закриття	Паливо
Богунице А1[45]	КС-150	121	1972	1979	
Богунице-1[46]	ВВЕР-440/230	408	1980	2006	

Продовження таблиці 1.16

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність, МВт	Введення в експлуатацію	Закриття	Паливо
Богунице-3[48]	ВВЕР-440/213	471	1985	2034	ТВЕЛ
Енергоблок	Тип реакторів	Потужність, МВт	Введення в експлуатацію	Закриття	Паливо
Богунице-4[49]	ВВЕР-440/213	471	1985	2035	ТВЕЛ
Bohunice V2-1[50]	ВВЕР-440/213	472	1984	2024	
Bohunice V2-2[51-52]	ВВЕР-440/213	472	1985	2025	



Рисунок 1.3 – АЕС Bohunice [53]

В таблиці 1.17 наведено напрямлення вітру в Трнаве.

Таблиця 1.17 –Направлення вітру в Трнаве

Півн.	Півн.- Сх.	Сх.	Півд.- Сх.	Півд.	Півд.- Зах.	Зах.	Півн.- Зах.
15.6%	1.6%	5.8%	18.7%	13.2%	3.9%	16%	25.2%

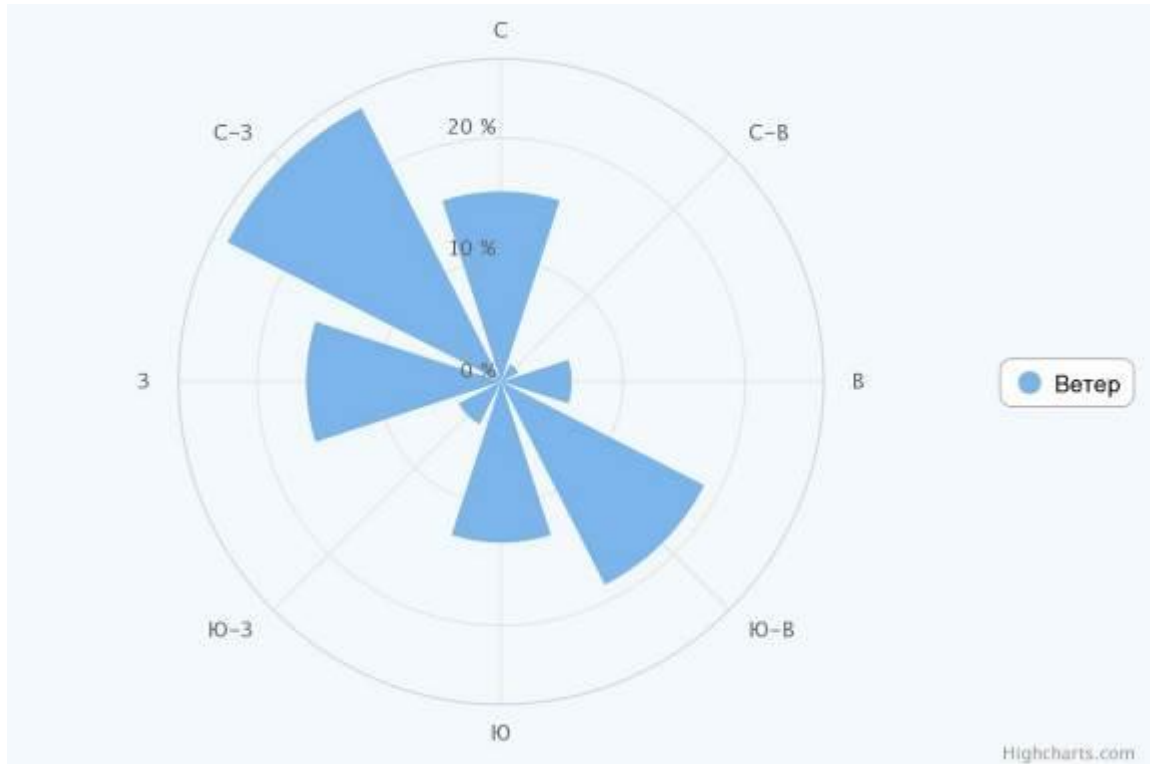


Рисунок 1.4 – Роза вітрів в Трнаве

Викиди радіонуклідів АЕС Bohunice A, Slovakia за період 2013-2017 рр. наведені в табл. 1.18.

Таблиця 1.18 – Викиди радіонуклідів АЕС Bohunice A, ГБк [54]

Радіонуклід	Stop Date	2013	2014	2015	2016	2017
Ag-110m	22/02/1977	3,30E-05	6,80E-06	4,44E-06	3,98E-06	3,94E-06
C-14	22/02/1977	1,13E+01				0,00E+00
Ce-141	22/02/1977	5,00E-06	1,05E-06	1,23E-06	1,38E-06	1,31E-06
Ce-144	22/02/1977	1,27E-04	2,44E-05	3,38E-05	3,89E-05	3,96E-05
Am-241	22/02/1977	2,90E-08	4,29E-06	3,27E-06	2,56E-06	5,81E-06
Co-57	22/02/1977	1,70E-05	8,03E-06	4,09E-06	4,58E-06	7,10E-06
Co-58	22/02/1977	4,00E-06	8,53E-07	2,32E-06	1,60E-06	8,73E-07
Co-60	22/02/1977	1,86E-04	2,73E-05	4,98E-05	2,05E-05	1,56E-05
Cr-51	22/02/1977	3,00E-05	1,58E-05	1,05E-05	1,31E-05	1,18E-05
Cs-134	22/02/1977	2,70E-05	6,19E-06	5,62E-06	5,53E-06	5,95E-06

Продовження таблиці 1.18

Радіонуклід	Stop Date	2013	2014	2015	2016	2017
Cs-137	22/02/1977	1,72E-03	6,62E-04	6,71E-04	3,88E-04	2,34E-03
Fe-55	22/02/1977	4,69E-07				
Fe-59	22/02/1977	1,00E-05	1,28E-06	5,32E-06	6,43E-06	1,48E-06
H-3	22/02/1977	5,17E+01	2,32E+01	4,82E+00	7,24E+00	1,36E+01
Mn-54	22/02/1977	2,80E-05	7,92E-06	7,26E-06	8,97E-06	7,85E-06
Nb-94	22/02/1977	2,10E-05	4,57E-06	4,15E-06	4,64E-06	4,83E-06
Nb-95	22/02/1977	1,30E-05	7,56E-07	6,38E-07	6,77E-07	1,10E-06
Pu-238	22/02/1977	4,91E-07	7,17E-07	6,69E-07	6,10E-07	6,32E-07
Pu-239,240	22/02/1977	2,46E-07	2,51E-06	1,18E-06	2,04E-06	2,41E-06
Rh-106	22/02/1977	5,30E-05	1,38E-05	1,46E-05	1,85E-05	7,74E-06
Ru-103	22/02/1977	3,00E-06	1,23E-06	1,26E-06	1,56E-06	3,09E-06
Sb-124	22/02/1977	3,00E-06	1,41E-06	1,29E-06	1,62E-06	1,39E-06
Sb-125	22/02/1977	5,60E-05	1,72E-05	8,12E-06	7,87E-06	3,09E-06
Sr-89	22/02/1977					0,00E+00
Sr-90	22/02/1977	5,27E-05	3,59E-05	3,76E-05	3,61E-05	5,98E-05
Zn-65	22/02/1977	7,50E-05	2,76E-05	3,00E-05	1,73E-05	1,51E-05
Zr-95	22/02/1977	7,00E-06	6,13E-07	6,80E-07	6,22E-07	7,88E-07

Викиди радіонуклідів АЕС Bohunice B за період 2013-2017 рр. наведені в табл. 1.19.

Таблиця 1.19 – Викиди радіонуклідів від АЕС Bohunice B, GBq [55]

Радіонуклід	2013	2014	2015	2016	2017	Середнє
Ag-110m	1,34E-03	1,34E-03	1,40E-03	2,29E-03	6,50E-04	1,40E-03
Am-241	6,67E-07	3,47E-07	3,20E-07	1,18E-06	1,87E-06	8,77E-07
Ar-41	3,39E+03	3,86E+03	4,35E+03	4,08E+03	2,69E+03	3,67E+03
As-76	6,45E-01	3,50E-01	7,43E-01	8,45E-01	3,97E-01	5,96E-01
C-14	4,36E+02	4,59E+02	3,78E+02	3,39E+02	4,14E+02	4,05E+02
Ce-141	1,09E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,11E-04	1,00E-04	1,08E-04
Ce-144	3,40E-04	3,55E-04	3,40E-04	5,07E-04	3,96E-04	3,88E-04
Co-57	4,26E-05	4,40E-05	4,60E-05	4,84E-05	4,05E-05	4,43E-05
Co-58	5,16E-04	7,87E-04	1,17E-03	6,11E-04	5,66E-04	7,30E-04
Co-60	2,94E-04	4,31E-04	6,23E-04	8,24E-04	9,07E-04	6,16E-04
Cr-51	1,33E-03	2,26E-03	2,11E-03	2,55E-03	1,38E-03	1,93E-03

Продовження таблиці 1.19

Радіонуклід	Stop Date	2013	2014	2015	2016	2017
Cs-134	5,98E-05	5,92E-05	6,30E-05	6,90E-05	6,04E-05	6,23E-05
Cs-137	8,15E-05	7,82E-05	9,40E-05	2,41E-04	1,49E-04	1,29E-04
Fe-55				2,50E-03	1,94E-04	1,35E-03
Fe-59	1,35E-04	1,55E-04	1,88E-04	1,70E-04	1,39E-04	1,57E-04
H-3	5,34E+02	7,05E+02	8,80E+02	9,58E+02	8,50E+02	7,85E+02
Hf-181	7,08E-05	2,21E-04	8,40E-05	1,12E-04	3,60E-05	1,05E-04
I-131	4,02E-04	3,79E-04	3,92E-04	3,58E-04	4,15E-04	3,89E-04
Kr-85	8,22E+01	9,57E+01	1,10E+02	1,04E+02	7,55E+01	9,35E+01
Kr-85m	1,30E+01	1,51E+01	2,19E+01	2,14E+01	1,85E+01	1,80E+01
Kr-87	2,60E+01	3,53E+01	4,27E+01	4,33E+01	4,01E+01	3,75E+01
Kr-88	3,89E+01	5,04E+01	6,05E+01	6,25E+01	5,69E+01	5,38E+01
Mn-54	1,45E-04	2,17E-04	4,22E-04	2,52E-04	3,71E-04	2,81E-04
Nb-94				6,71E-06	3,36E-06	5,04E-06
Nb-95	3,12E-04	5,62E-04	8,10E-04	6,99E-04	4,79E-04	5,72E-04
Pu-238	3,24E-07	3,47E-07	3,20E-07	8,52E-07	7,55E-07	5,20E-07
Pu-239, 240	6,42E-07	3,47E-07	3,20E-07	4,65E-07	2,63E-06	8,81E-07
Rh-106	1,76E-04	1,80E-04	1,90E-04	4,35E-04	4,91E-04	2,94E-04
Ru-103	7,16E-05	7,10E-05	7,40E-05	7,46E-05	6,60E-05	7,14E-05
Sb-124	2,24E-04	2,18E-04	2,60E-04	2,15E-04	1,62E-04	2,16E-04
Sb-125				1,29E-05	8,02E-06	1,05E-05
Se-75	6,16E-07	2,37E-05	4,40E-04	1,10E-03	1,20E-03	5,53E-04
Sr-89	3,40E-05	3,43E-05	3,04E-05	3,17E-05	3,30E-05	3,27E-05
Sr-90	3,44E-05	5,75E-05	3,33E-05	3,15E-05	3,50E-05	3,83E-05
Xe-131m	4,54E+02	5,19E+02	6,39E+02	5,91E+02	6,02E+02	5,61E+02
Xe-133	3,89E+01	6,55E+01	6,05E+01	7,40E+01	5,72E+01	5,92E+01
Xe-133m	1,17E+02	1,26E+02	1,61E+02	1,50E+02	1,51E+02	1,41E+02
Xe-135	1,73E+01	1,76E+02	2,27E+02	2,63E+02	1,91E+02	1,75E+02

Продовження таблиці 1.19

Радіонуклід	Stop Date	2013	2014	2015	2016	2017
Xe-135m		4,03E+01	3,81E+01	3,95E+01	3,89E+01	3,92E+01
Xe-138	3,89E+01	4,53E+01	5,42E+01	4,93E+01	5,18E+01	4,79E+01
Zn-65	1,43E-04	1,72E-04	2,04E-04	1,78E-04	1,67E-04	1,73E-04
Zr-95	1,93E-04	3,05E-04	3,80E-04	3,17E-04	2,47E-04	2,88E-04

1.4.2 АЕС Mochovce

АЕС Mochovce - атомна електростанція в Словаччині, яка розташована в 15 км на північний захід від міста Левіце між містами Nitra і Levice, в районі села Моховці. Географічне розташування: 48°15'38" пн. ш. 18°27'32" сх. Д (див. рис.1.5).



Рисунок 1.5 – АЕС Mochovce

Два енергоблоки з водо-водяними енергетичними реакторами реакторами ВВЕР-440/213, потужністю 470 МВт (спочатку 440 МВт) знаходяться в роботі, ще два енергоблоки з реакторами такого ж типу знаходяться в процесі будівництва. Поточна потужність атомної станції, на даний момент, покриває близько 20% споживаної електроенергії в Словаччині [56-57].

Викиди радіонуклідів АЕС Mochovce за період 2013-2017 рр. наведені в табл. 1.20 [58].

Таблиця 1.20 – Викиди радіонуклідів АЕС Mochovce, ГБк

Радіонуклід	2013	2014	2015	2016	2017	Середнє
Ag-110m	3,46E-03	2,06E-03	1,82E-03	6,71E-04	1,67E-03	1,94E-03
Am-241	2,92E-08	3,13E-07	5,84E-08	4,02E-08	2,90E-08	9,40E-08
Ar-41	1,11E+03	8,62E+02	7,04E+02	3,57E+02	1,94E+02	6,45E+02
As-76	2,23E-03	1,68E-03	4,73E-04	3,74E-03	1,04E-02	3,70E-03
C-14	4,84E+02	4,84E+02	4,41E+02	3,56E+02	4,37E+02	4,40E+02
Ce-141	3,16E-05	3,50E-05	2,86E-05	3,57E-05	2,85E-05	3,19E-05
Ce-144	1,18E-04	1,05E-04	1,00E-04	1,41E-04	9,24E-05	1,11E-04
Co-57	1,50E-05	1,57E-05	1,30E-05	1,26E-04	1,25E-05	3,64E-05
Co-58	1,00E-03	1,55E-03	7,48E-04	1,62E-05	9,04E-04	8,44E-04
Co-60	1,01E-03	1,28E-03	8,66E-04	7,40E-04	8,16E-04	9,42E-04
Cr-51	1,36E-03	1,73E-03	1,11E-03	6,83E-04	1,02E-03	1,18E-03
Cs-134	2,35E-05	2,20E-05	2,03E-05	2,85E-05	3,83E-05	2,65E-05
Cs-137	5,46E-05	3,68E-05	2,76E-05	6,13E-05	4,63E-05	4,53E-05
Fe-59	2,10E-04	2,67E-04	1,54E-04	5,96E-04	1,29E-04	2,71E-04
H-3	7,19E+02	6,86E+02	7,35E+02	4,63E+02	4,49E+02	6,10E+02
Hf-181	1,06E-04	1,63E-04	1,22E-04	1,07E-04	1,10E-04	1,22E-04
I-131	1,64E-04	4,55E-04	6,64E-04	3,05E-02	2,24E-02	1,08E-02
I-132	1,06E-01	5,12E-02	1,74E-02	5,36E-02	2,46E-02	5,06E-02
I-133	1,73E-03	1,49E-03	4,10E-04	2,21E-03	2,47E-03	1,66E-03
Kr-85	4,00E+02	3,25E+02	2,44E+02	2,44E+02	1,95E+02	2,82E+02

Продовження таблиці 1.20

Радіонуклід	2013	2014	2015	2016	2017	Середнє
Kr-85m	6,42E+00	5,70E+00	2,07E+01	9,12E+00	9,07E+01	2,65E+01
Kr-87	2,70E+01	2,39E+01	3,66E+01	2,03E+01	6,97E+01	3,55E+01
Kr-88	2,43E+01	2,18E+01	5,21E+01	2,25E+01	5,72E+01	3,56E+01
Mn-54	7,85E-04	1,41E-03	7,26E-04	4,93E-04	8,28E-04	8,48E-04
Nb-95	5,72E-04	9,79E-04	5,74E-04	3,97E-04	4,40E-04	5,92E-04
Pu-238	2,92E-08	3,13E-08	3,07E-08	4,02E-08	2,76E-08	3,18E-08
Pu-239,240	6,26E-08	3,22E-08	3,07E-08	4,02E-08	2,76E-08	3,87E-08
Rh-106	7,77E-05	7,17E-05	6,65E-05	7,95E-05	5,52E-05	7,01E-05
Ru-103	3,12E-05	4,44E-05	3,69E-05	3,96E-05	4,47E-05	3,94E-05
Sb-122	1,07E-04	6,85E-05	4,04E-05	2,56E-05	2,56E-05	5,34E-05
Sb-124	2,07E-04	2,27E-04	1,68E-04	1,18E-04	1,37E-04	1,71E-04
Se-75	4,44E-04	8,41E-04	6,07E-04	5,47E-04	4,77E-04	5,83E-04
Sr-89	1,02E-06	1,03E-03	9,81E-07	1,25E-06	5,33E-07	2,07E-04
Sr-90	9,74E-07	4,70E-03	3,02E-06	3,32E-06	2,60E-06	9,42E-04
Xe-133	2,13E+01	1,68E+01	8,22E+01	4,23E+02	7,32E+01	1,23E+02
Xe-133m	1,42E+01	1,13E+01	9,65E+00	1,10E+01	6,34E+01	2,19E+01
Xe-135	2,12E+01	1,09E+01	1,06E+02	4,17E+01	5,86E+01	4,77E+01
Zn-65	6,05E-05	8,01E-05	6,13E-05	6,18E-05	5,04E-06	5,37E-05
Zr-95	3,17E-04	4,33E-04	2,90E-04	1,90E-04	2,72E-04	3,00E-04

Основні характеристики АЕС Моховіце наведені в табл. 1.21 [59].

Таблиця 1.21–Основні характеристики АЕС Моховіце

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність, МВт	Введення експлуатацію	в	Закриття
Моховце-1 [60]	ВВЕР-440/230	436	1998		2058 (план)
Моховце-2 [61]	ВВЕР-440/230	436	1999		2060 (план)

Продовження таблиці 1.21

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність, МВт	Введення в експлуатацію	Закриття
Моховце-3 [62]	ВВЕР-440/213+	440	Будівництво зупинено в 1992 році, відновлено в червні 2009 року; пуск заплановано на літо 2019 року [64]	2079 (план)
Моховце-4 [63]	ВВЕР-440/213+	440	Будівництво зупинено в 1992 році, відновлено в червні 2009 року; пуск заплановано на 2020 рік [64]	2080 (план)

В таблиці 1.22 і на рис. 1.6 наведено розподіл напрямку вітру у Левіцах.

Таблиця 1.22 – Розподіл напрямків вітру у Левіцах [65]

Півн.	Півн.-Сх.	Сх.	Півд.-Сх.	Півд.	Півд.-Зах.	Зах.	Півн.-Зах.
7.5%	1.8%	19.6%	18.3%	9.4%	4%	10.2%	29.2%

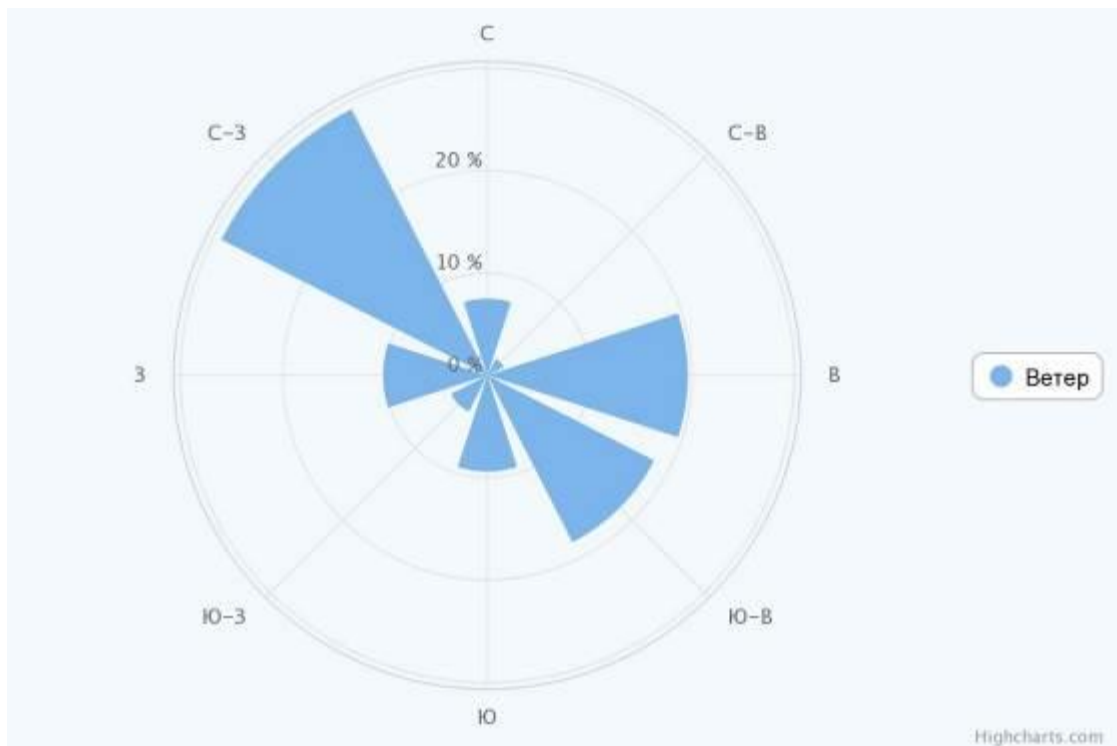


Рисунок 1.6 – Роза вітрів в Левіцах

1.5 Викиди радіонуклідів АЕС Чеської Республіки

1.5.1 АЕС Dukovany

АЕС Dukovany (див. рис. 1.7) - атомна електростанція, розташована приблизно в 30 км на південний захід від Тршебіч на заході Моравії, між селами Дуковани, Славетіце, Роуховані. У 2013 році виробила 20% споживаної Чехією електричної енергії. Географічне розташування АЕС Dukovany: 49°05'07 "пн.ш. 16°09'00" сх. д.



Рисунок 1.7 – АЕС Dukovany

Dukovany АЕС - це перша атомна електростанція, побудована в Чехії. У 1974 році почалося будівництво Dukovany АЕС. У період з 1985 по 1987 роки були введені в експлуатацію 4 енергоблоку станції. Для потреб АЕС «Дуковани» було побудовано водосховище Далєшице. Входить в п'ятірку безпечних електростанцій свого типу на світлі і два рази окупила свій будівництво [66].

На АЕС Dukovany працюють чотири енергоблоки, на яких встановлені реакторні установки типу ВВЕР-440/В-213. У 2005 році була проведена модернізація енергоблоку № 3, в результаті якої електрична потужність енергоблоку була збільшена до 456 МВт. У 2007 році аналогічна операція з підйому потужності була проведена на енергоблоках № 1 і 4. У 2009 році електрична потужність енергоблоку № 3 була знову збільшена до 500 МВт.

На території промайданчика станції розташовані 8 випарних градирень, висотою 125 метрів кожна.

У табл. 1.23 наведені основні характеристики АЕС Dukovany.

Таблиця 1.23 – Основні характеристики АЕС Dukovany [67]

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність, МВт	Введення в експлуатацію	Паливо
Dukovany -1	ВВЕР-440/213	471	1985	ТВЕЛ
Dukovany -2	ВВЕР-440/213	471	1986	ТВЕЛ
Dukovany -3	ВВЕР-440/213	471	1986	ТВЕЛ
Dukovany -4	ВВЕР-440/213	471	1987	ТВЕЛ

Викиди радіонуклідів АЕС Dukovany за період 2013-2017 рр. наведено в таблиці 1.24 [68-70].

Таблиця 1.24 – Викиди радіонуклідів АЕС Dukovany за період 2013-2017 рр., ГБк [68-70]

Радіонуклід	2013	2014	2015	2016	2017	Середнє
C-14	7,91E+02	6,86E+02	7,38E+02	5,77E+02	6,33E+02	6,85E+02
H-3	9,55E+02	9,45E+02	7,73E+02	8,64E+02	8,05E+02	8,68E+02
Total Beta/Gamma (H-3, C-14, S-35)	1,35E-02	1,91E-02	1,90E-02	1,54E-02	3,43E-02	2,03E-02

Продовження таблиці 1.24

Радіонуклід	2013	2014	2015	2016	2017	Середнє
Total Iodines (incl. I-131)	1,19E-03	1,67E-03	1,30E-03	1,31E-03	0,00E+00	1,09E-03
Total Noble Gas	3,48E+03	3,42E+03	3,05E+03	2,30E+03	2,58E+03	2,97E+03

1.5.2 АЕС Temelin

АЕС Temelin - атомна електростанція, найбільший в Чехії виробник електроенергії (див. рис. 1.8) [71]. Станція розташована на південному заході країни, в 25 кілометрах на північ від міста Ческе-Будейовіце Південночеський краю [71]. Географічне розташування АЕС Temelin: 49°10'48" пн. ш. 14°22'34" сх. д.



Рисунок 1.8 – АЕС Temelin [72]

Станція складається з двох енергоблоків з реакторами ВВЕР-1000 електричною потужністю 1 ГВт кожен. АЕС Темелін є підрозділом чеської державної енергокомпанії CEZ Group. Станція почала комерційну роботу в 2002 році, через більш 20 років з початку будівництва.

Таблиця 1.25 – Основні характеристики АЕС Temelin [73]

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність, МВт	Введення в експлуатацію	Паливо	Закриття
Темелин-1	ВВЕР-1000/320	1000	2002	ТВЕЛ	2042
Темелин-2	ВВЕР-1000/320	1000	2003	ТВЕЛ	2043
Темелин-3	ВВЕР-1000/320	892	Будівництво зупинено в березні 1990		
Темелин -4	ВВЕР-1000/320	892	Будівництво зупинено в березні 1990		

Станція займає територію 1,25 км². В 2009 році функціонувало 2 енергоблоки, електрична потужність станції становить 2 ГВт [73]. Охолодження конденсаторів турбін здійснюється за допомогою чотирьох баштових градирень (по дві на кожен енергоблок). Градирні є найпомітнішими архітектурними елементами станції, досягають 155 метрів при діаметрі в основі в 130 метрів. Забір води для системи охолодження проводиться з річки Влтави і водосховища Гневковіце.

На рис. 1.9 та в таблиці 1.26 наведено розподіл напрямків вітру в Ческе-Будеєвице.

Таблиця 1.26 – Розподіл напрямків вітру у Ческе-Будеєвице

Півн.	Півн.-Сх.	Сх.	Півд.-Сх.	Півд.	Півд.-Зах.	Зах.	Півн.-Зах.
13%	5%	17.8%	11.7%	8.7%	5.9%	15.9%	22.1%

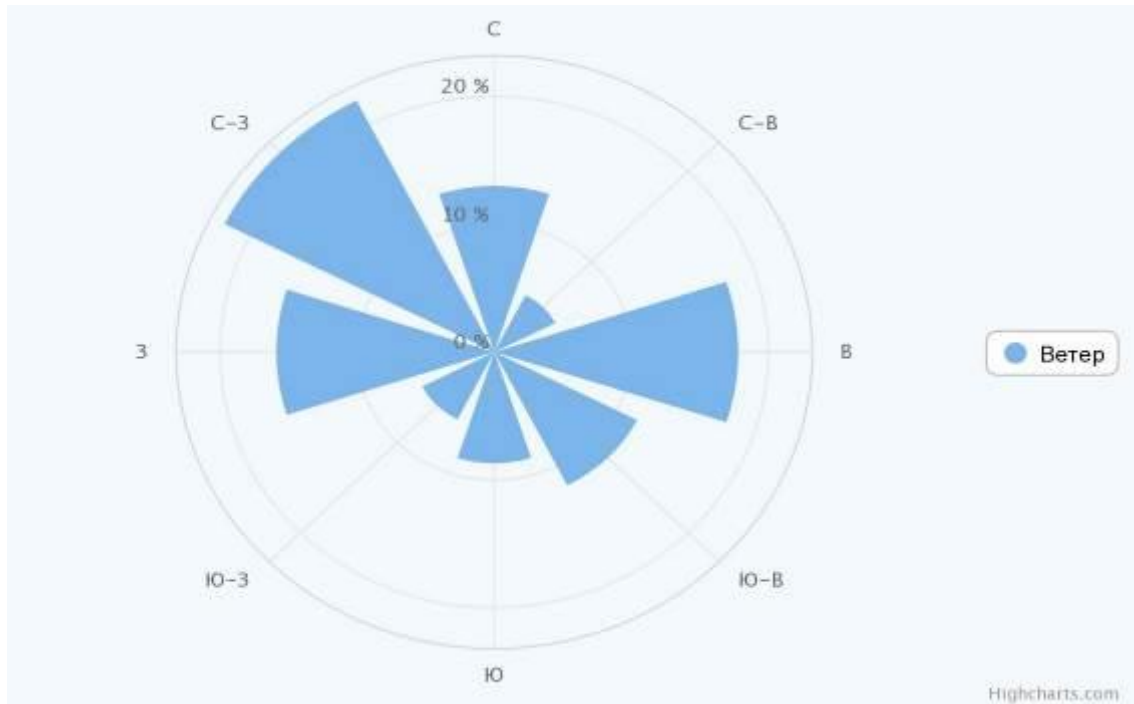


Рисунок 1.9 – Роза вітрів в Ческе-Будеївице

Викиди радіонуклідів АЕС Temelin за період 2013-2017 рр. наведено в табл. 1.27

Таблиця 1.27 – Викиди радіонуклідів АЕС Temelin за період 2013-2017 рр., ГБк [74]

Радіоуклід	2013	2014	2015	2016	2017	Середнє
C-14	7,21E+02	7,30E+02	5,84E+02	5,56E+02	5,59E+02	6,30E+02
H-3	1,40E+03	1,58E+03	1,78E+03	2,10E+03	1,47E+03	1,67E+03
Total Beta/Gamma (excl. H-3, C-14, S-35)	2,46E-03	2,34E-03	3,62E-01	3,17E-03	1,72E-03	7,43E-02
Total Iodines (incl. I-131)	2,42E-02	7,79E-02	7,62E-02	3,06E-02	4,84E-02	5,15E-02
Total Noble Gas	2,38E+03	9,85E+03	1,32E+04	3,57E+03	2,60E+03	6,32E+03

1.6 Викиди радіонуклідів АЕС Росії

1.6.1 Ростовская АЕС

Ростовская АЕС розташована в Ростовській області в 16 км від міста Волгодонська на березі Цимлянського водосховища, створеного в нижній течії р. Дон, приблизно в 13,5 км на схід від м. Волгодонська. Електрична потужність чотирьох діючих енергоблоків становить 4,03 ГВт. Всі реактори - ВВЕР-1000 [75]. 4-й реактор був введений в експлуатацію в 2018 році.

Георгафічне положення: 47°35'50" пн. ш. 42°22'00" сх. д. [76]. З 2001 по 2010 роки станція мала назву «Волгодонська АЭС», з пуском другого енергоблоку станція була знову перейменована в «Ростовську» АЕС [77].

Площа санітарно-захисної зони (СЗЗ) Ростовської АЕС становить 44 км², з них 18 км² займає водоймище-охолоджувач. Площа зони спостереження (ЗС) становить 2600 км², з них близько 500 км² займає водна поверхня Цимлянського водосховища.

Ростовська АЕС єдина в сучасній Росії, яка запустила три енергоблоки – 2-й, 3-й і 4-й, за сім років [78].

У 2017 році Ростовская АЕС в п'ятий раз була визнана кращою з культури безпеки. До цього це відбувалося в 2005, 2008, 2010, 2014 роках [79].

У 2018 році виробіток електроенергії АЕС 29 369,6 млн кВт/рік, включаючи вироблення від 4-го енергоблоку, запущеного в експлуатацію в 2018 році [80].



Рисунок 1.10 – Ростовская АЕС [75]

Ростовська АЕС (див. рис. 1.10) є одним з найбільших підприємств енергетики півдня Росії, що забезпечує понад 30% річного виробітку електроенергії в цьому регіоні. [81] Електроенергія Ростовської АЕС надходить в об'єднану енергетичну систему півдня Росії, до складу якої входять 13 регіональних енергетичних систем – суб'єктів Південного і Північно-Кавказького федеральних округів, по семи лініях напруги 500 кВ і 4 лініях напругою 220 кВ [82]. Вироблення електроенергії становить понад 102 млн. кВт· час на добу. У 2018 році АЕС виробила 29 млрд. 369 млн. 594 тис. кВт·час. Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) склав 89,70%. З моменту пуску (2001 рік) електростанція виробила понад 240,5 мільярдів кВт· час електроенергії [83].

Основні характеристики Ростовської АЕС наведені у табл. 1.28.

Таблиця 1.28 – Основні характеристики Ростовської АЕС [84]

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність	Введення в експлуатацію	Закриття
Ростов-1	ВВЕР-1000/320	950 МВт	25.12.2001	2031 (план)
Ростов-2	ВВЕР-1000/320	950 МВт	10.12.2010	2040 (план)

Продовження таблиці 1.28

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність	Введення в експлуатацію	Закриття
Ростов-3	ВВЕР-1000/320	950 МВт	17.09.2015	2045 <i>(план)</i>
Ростов-4	ВВЕР-1000/320	950 МВт	28.09.2018	2048 <i>(план)</i>

Клімат регіону континентальний з недостатнім зволоженням, жарким і сухим літом і нестійкою малосніжною зимою. Середня річна температура повітря становить +7,9 °С, абсолютний максимум +41 °С, абсолютний мінімум -35 °С. Середньомісячна температура найбільш холодного місяця (січень) становить -7,4 °С, найбільш теплого (липень) – +23,4 °С. Середня кількість опадів - 400 мм на рік. За вегетаційний період випадає в середньому 200-220 мм опадів, що недостатньо для інтенсивного землеробства, тому в землеробстві використовується полив водами Цимлянського водосховища. Протягом більшої частини року переважають східні вітри, тільки влітку відзначається невелике переважання північно-східних вітрів. Середня річна швидкість вітру в районі розташування АЕС становить 5 м/с.

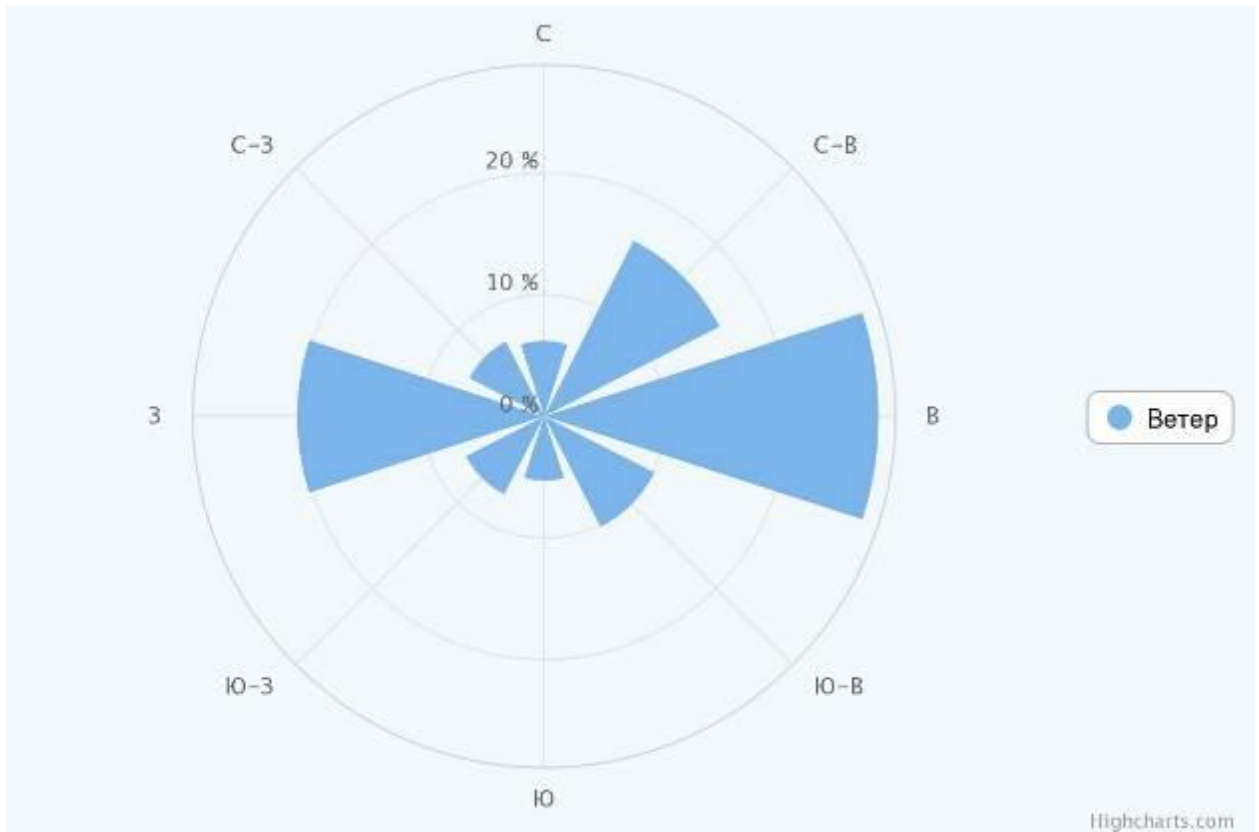


Рисунок 1.11 – Роза вітрів в Волгодонську [85]

Розподіл рози вітрів в Волгодонську наведено на рис. 1.11 та у таблиці 1.29.

Таблиця 1.29 – Розподіл напрямків вітру у Волгодонську

Півн.	Півн.- Сх.	Сх.	Півд.- Сх.	Півд.	Півд.- Зах.	Зах.	Півн.- Зах.
6.2%	16.2%	27.5%	10.2%	5.3%	7.2%	20.3%	6.9%

Газоаерозольні викиди на Ростовской АЕС надходять в атмосферу через венттруби після системи спецгазоочистки. Ефективність очищення повітря, що викидається від радіоактивних аерозолів і йоду на фільтрах газоочистки перевищує 90%.

Дані щодо газоаерозольних викидів радіонуклідів в атмосфері, що регламентуються СанПиН 2.6.1.24-03 [86], за період 2011–2012 рр. наведені в табл. 1.30 [87].

Таблиця 1.30 –Викиди радіонуклідів Ростовской АЕС за період 2011–2012 рр.

Радіонуклід	Фактичний выброс, Бк		
	2011	2012	Середнє
^{60}Co	2,20E+06	2,02E+06	2,11E+06
$^{131}\text{I}^*$	9,01E+06	2,74E-03	4,51E+06
$^{134}\text{Cs}^*$	2,90E+05	1,54E-03	1,45E+05
^{137}Cs	3,50E+05	9,80E+05	6,65E+05
Сума ІРГ	1,01E+13	4,77E+12	7,44E+12

Примітка: * - викид радіонуклідів не зареєстрований.

Викиди ^{131}I і ^{134}Cs не були зареєстровані в 2012 р. Фактичні річні газоаерозольні радіоактивні викиди Ростовской АЕС в атмосферу в 2012 р. були на один - чотири порядки нижчі від допустимих викидів, встановлених для АЕС з реактором ВВЕР-1000 [88].

1.6.2 Смоленская АЕС

Смоленская АЕС - атомна електрична станція, розташована на півдні Смоленської області в 3 км від міста Десногорськ і в 35 км від м. Рославля. Знаходиться на березі Десногорського водосховища, води якого використовує для охолодження (див. рис. 1.11). Географічне розташування: $54^{\circ}09'53''$ пн. ш. $33^{\circ}14'12''$ сх. д [89].

Основною водною артерією в районі розташування САЕС є р. Десна з притоками, що впадає в р. Дніпро, на якій, для промислового водопостачання побудовано водосховище з площею дзеркала $42,2 \text{ км}^2$. Створ греблі розташований у межиріччі р. Десни та її притоки р. Селянка в 7 км від с. Екімовічі. СЗЗ САЕС визначена радіусом 1 км, ДТ - радіусом 19 км. Площа ДТ становить $1130,4 \text{ км}^2$.

У промисловій експлуатації на Смоленской АЕС знаходиться три енергоблоки з уран-графітовими каналними реакторами РБМК-1000. Електрична потужність кожного енергоблоку – 1 ГВт, тепла – 3,2 ГВт.

Енергоблоки з реакторами РВПК-1000 одноконтурні. Зв'язок з Єдиною енергетичною системою Росії здійснюється шістьма лініями електропередачі, напругою: 330 кВ (Рославль-1, 2); 500 кВ, але побудованими в габаритах 750 кВ (Калуга, Михайлов); 750 кВ (Ново-Брянська, Білоруська). Сумарна встановлена потужність всіх енергоблоків становить близько 3 000 МВт.

Вироблення електроенергії в 2018 році склала 19 011,9 млн кВт, що становить 9,3% всієї електроенергії виробленої енергоблоками в Росії Концерну «Росенергоатом».



Рисунок 1.11 – Смоленская АЭС [90]

Основні характеристики Смоленской АЭС наведені у табл. 1.31

Клімат району Смоленской АЭС формується під впливом атлантичних і континентальних повітряних мас – помірно-континентальний [91]. Зима помірно холодна зі стійким сніжним покривом і з середньою температурою

від -4°C до -16°C . Літо тепле. Найвища температура спостерігається в липні. Середня річна температура – $+7^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 1.31 – Основні характеристики Смоленської АЕС [91]

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність	Введення в експлуатацію	Закриття
Смоленск-1 [92]	РБМК-1000	925 МВт	30.09.1983	2027(план)
Смоленск-2 [93]	РБМК-1000	925 МВт	02.07.1985	2030 (план)
Смоленск-3 [94]	РБМК-1000	925 МВт	12.10.1990	2034 (план)
Смоленск-4 [95]	РБМК-1000	925 МВт	Будівництво 01.12.1993	зупинено

Вітровий режим району водосховища в річному розрізі характеризується рівномірним розподілом вітрів по всіх румбам. У літній період спостерігається деяке переважання вітрів північно-західній чверті, в зимовий – південних вітрів.

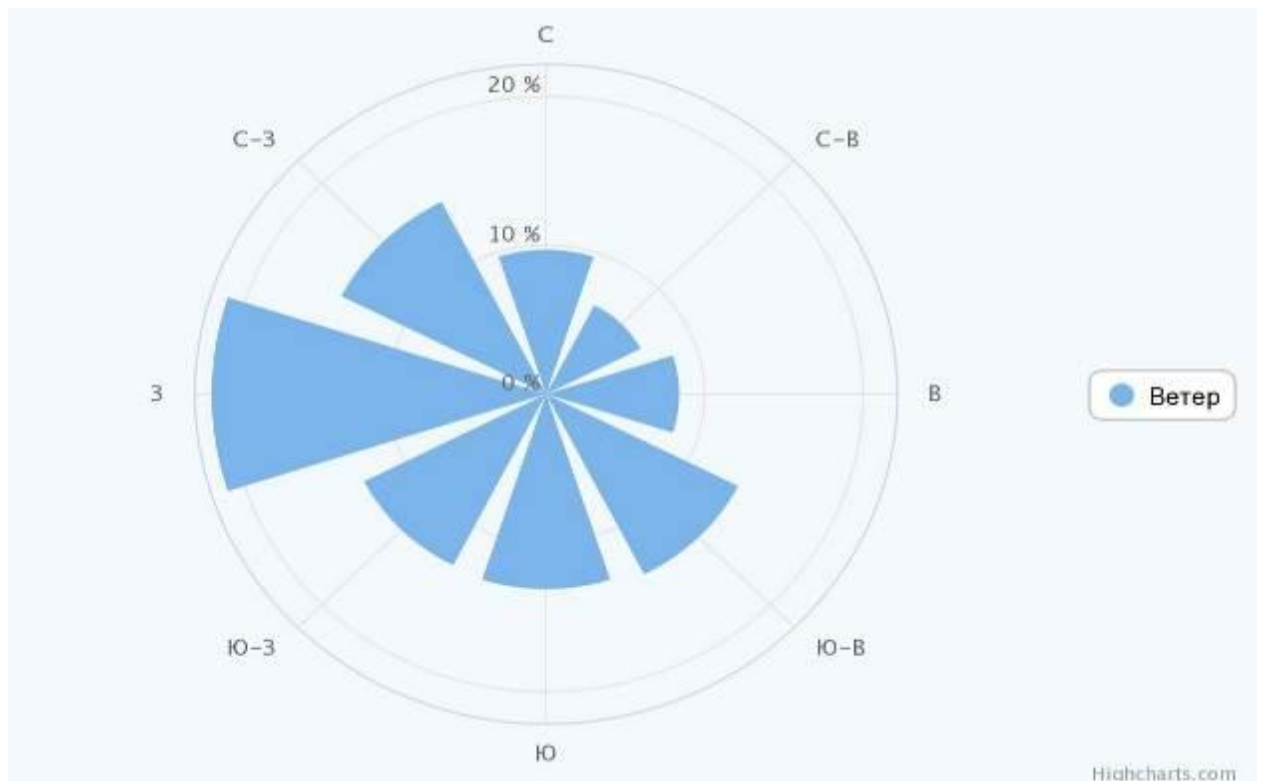


Рисунок 1.12 – Роза вітрів в Десногорське [96]

В таблиці 1.32 і на рис. 1.12 наведено розподіл напрямку вітру у Десногорську

Таблиця 1.32 – Розподіл напрямків вітру у Десногорську

Півн.	Півн.- Сх.	Сх.	Півд.- Сх.	Півд.	Півд.- Зах.	Зах.	Півн.- Зах.
9.7%	6.7%	8.4%	13.6%	13.1%	12.9%	21.1%	14.5%

Зміст регламентованих радіонуклідів в газоаерозольних викидах Смоленской АЕС за період 2005– 2012 рр. представлено у табл. 1.33 [97-100].

Таблиця 1.33 – Викиди регламентованих радіонуклідів в атмосферу на Смоленской АЕС

Радіо- нуклід	Фактичний викид, Бк							
	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012	Середнє
⁶⁰ Со	2,52E+08	1,34E+08	1,34E+08	1,77E+08	8,03E+07	5,00E+07	6,40E+07	1,27E+08
¹³¹ I	6,65E+07	5,17E+08	5,17E+07	1,64E+08	5,73E+07	1,00E+08	1,60E+08	1,59E+08
¹³⁷ Cs	1,02E+07	1,17E+07	1,17E+07	2,58E+06	9,78E+06	1,70E+06	1,40E+06	7,01E+06
Сума ІРГ	2,92E+13	1,61E+13	1,61E+13	1,37E+13	6,40E+13	4,90E+13	5,70E+13	3,50E+13

за 2006–2007 рр. [97, 98] та 2009 р. [99].

Крім радіонуклідів, наведених в табл. 1.30, в газоаерозольних викидах присутні ⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁵⁹Fe, ^{89,90}Sr, ⁹⁵Zr + ⁹⁵Nb з сумарною активністю $3,07 \cdot 10^8$ Бк за рік [100].

На території промайданчика другої черги Смоленской АЕС знаходиться комплекс будівель, що входять в систему поводження радіоактивних відходів, в яку входять сховище рідких і твердих відходів (СРТВ), сховище рідких відходів (СРВ і СРВ-2). Для зберігання відпрацьованого ядерного палива обладнано сховище відпрацьованого ядерного палива (СВЯП), розташоване на території промайданчика другої черги. Надходження радіонуклідів в навколишнє середовище з газоаерозольних викидами відбувається на Смоленской АЕС через вентиляційні труби (ВТ-1, ВТ-2).

1.6.3 Нововоронежская АЕС

Нововоронежская АЕС - одна з перших промислових атомних електростанцій СРСР. Розташована у Воронежской області на відстані 3,5 км від міста Нововоронеж. До обласного центру (м. Воронеж) - 45 км [101].

Нововоронежская АЕС перша в Росії АЕС з реакторами типу ВВЕР (водо-водяні енергетичні реактори корпусного типу зі звичайною водою під тиском). Кожен з п'яти реакторів станції є головним прототипом серійних енергетичних реакторів. [101]

Нововоронежська АЕС є джерелом електричної енергії, на 85% забезпечуючи Воронежську область. Крім того, з 1986 року вона на 50% забезпечує місто Нововоронеж теплом.

Географічне розташування Нововоронежской АЕС (рис. 1.13-1.15): $51^{\circ}16'56''$ півн. ш. $39^{\circ}12'36''$ сх. д.



Рисунок 1.13 – 1, 2 енергоблоки Нововоронежской АЕС [101]



Рисунок 1.14– 3, 4 энергоблоки Нововоронежской АЭС



Рисунок1.15 – 5 энергоблок Нововоронежской АЭС

Шостий енергоблок - найпотужніший блок в атомній енергетиці РФ, і перший в світі блок АЕС, побудований за «постфукусімським» технологіями безпеки, відповідним найсучаснішим вимогам надійності та безпеки

(наприклад, функції безпеки системи управління реакторною установкою дублюються додаткової диверсної системою захисту з використанням непрограмований компонентів, які забезпечують одночасне апаратне, програмне і алгоритмічне різноманітність, що, зокрема, виключає відмови, пов'язані з надійністю програмного забезпечення [102, 103].

Цей енергоблок, фізичний пуск якого відбувся в травні 2016 року, побудований за російським проектом «АЭС-2006» з реакторною установкою ВВЕР-1200 встановленою електричною потужністю 1200 МВт. Він відноситься до атомних блоків покоління «3+» з поліпшеними техніко-економічними показниками, відповідає найсучаснішим вимогам надійності та безпеки. Блок забезпечений додатковими системами пасивної безпеки, що не вимагають втручання персоналу станції в разі виникнення аварійної ситуації. Будівництво енергоблоку № 7 по проекту «АЭС-2006» завершено в 2019 році.

Основні характеристики Нововоронежской АЕС наведені в таблиці 1.34.

Таблиця 1.34 – Основні характеристики Нововоронежской АЕС

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність	Введення в експлуатацію	Закриття
Нововоронеж-1 [104]	ВВЕР-210	197 МВт	31.12.1964	16.02.1984
Нововоронеж-2 [105]	ВВЕР-365	336 МВт	14.04.1970	29.08.1990
Нововоронеж-3 [106]	ВВЕР-440/179	385 МВт	29.06.1972	25.12.2016
Нововоронеж-4 [107]	ВВЕР-440/179	385 МВт	24.03.1973	2032 (план)

Продовження таблиці 1.34

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність	Введення в експлуатацію	Закриття
Нововоронеж-5 [108]	ВВЕР-1000/187	950 МВт	20.02.1981	2036 рік (план)
Нововоронеж-6 [109]	ВВЕР-1200/392М	1114 МВт	27.02.2017	2077 (план)
Нововоронеж-7	ВВЕР-1200/392М	1114 МВт		

Нововоронежская АЕС (НВАЕС) є першою з вітчизняних атомних станцій з реакторами типу ВВЕР. Станція споруджена в три черги: перша черга - енергоблоки № 1 і № 2, друга - енергоблоки № 3 і № 4, третя - енергоблок № 5. У 2006 р на НВАЕС перебували в експлуатації 3 енергоблоку: два (№ 3 і № 4) — з потужністю 417 МВт і один (№ 5) — 1000 МВт. Енергоблоки № 1 і № 2 зупинені в 1984 і 1990 рр. відповідно. НВАЕС розташована на лівому березі р. Дон в Каширском районі Воронежской області.

В районі НВАЕС клімат помірно-континентальний з добре вираженими сезонами року. Середньорічна температура в районі НВАЕС в 2006 р. склала (+7 °С), максимальна середньомісячна температура спостерігалася в серпні (+21,7 °С), мінімальна - в лютому (-12,3 °С) [24]. Середньорічна відносна вологість повітря в 2006 р. склала 77,1%; річна кількість атмосферних опадів - 598 мм. В районі НВАЕС найчастіше спостерігаються стану стійкості атмосфери близькі до нейтральних. Переважним напрямком вітру в 2006 р. було південно-східне і північне. Середньорічне значення швидкості вітру склало 2,4 м/с.

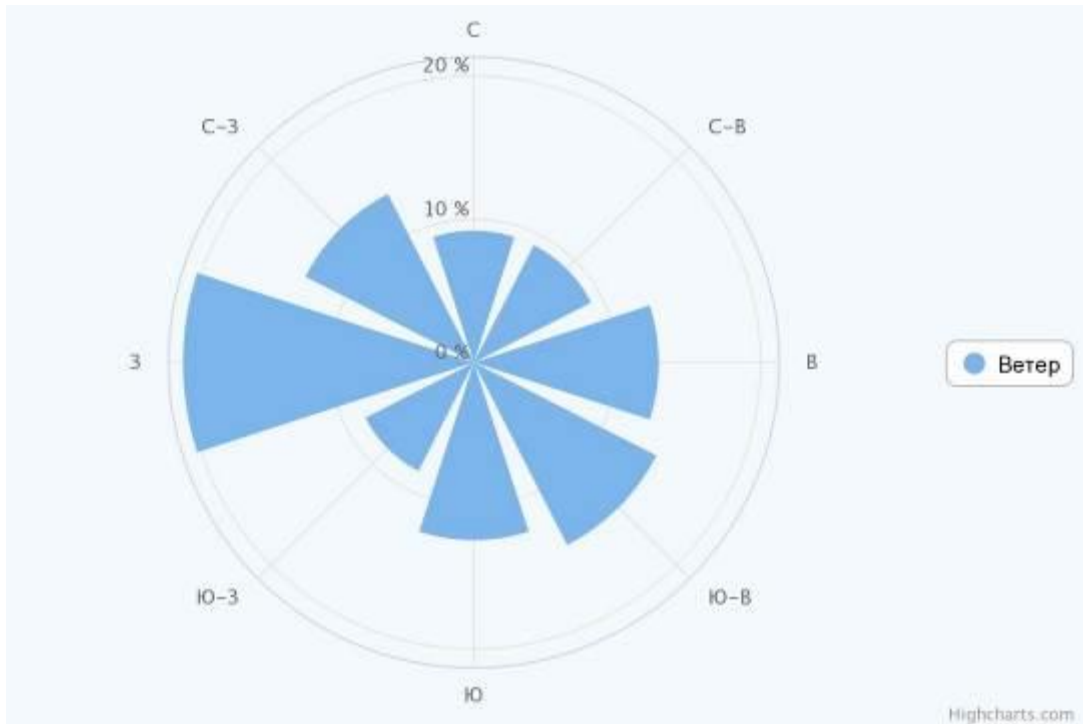


Рисунок 1.16 – Роза вітрів в м. Воронеж

В таблиці 1.35 та на рис. 1.16 наведено розподіл напрямку вітру у м. Воронеж.

Таблиця 1.35 – Розподіл напрямків вітру у м. Воронеж [110]

Півн.	Півн.- Сх.	Сх.	Півд.- Сх.	Півд.	Півд.- Зах.	Зах.	Півн.- Зах.
9.2%	9.2%	12.9%	12.9%	14.3%	12.4%	20.3%	13.2%

Газоаерозольні викиди НВАЕС складаються з: інертних газів (радіонукліди аргону, криптону, ксенону); радіоаерозолів - суміш продуктів поділу ядерного палива (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{131}I і інші), продуктів корозії конструкційних матеріалів, активованих в нейтронном потоці (^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{110}Ag , ^{59}Fe , ^{51}Cr , ^{95}Zr , ^{95}Nb і інші) і продуктів активації домішок, що вводяться в теплоносій (^{16}N , ^{17}N , ^{13}N , ^{18}F , ^7Li , ^{24}Na , T та інші).

На НВАЕС використовуються три основні методи знешкодження радіоактивних газо-аерозольних викидів:

- Витримка газів в газгольдерах. За час витримки відбувається значний розпад радіоактивності;

- Адсорбція інертних газів і йоду на фільтрах з активованого вугілля;
- Фільтрація повітря через волокнисті сорбенти, на яких затримується велика частина радіоаерозолів.

Після очищення газоаерозольні викиди видаляються через вентиляційні труби, висота яких забезпечує оптимальне розсіювання в атмосфері.

Санітарно-захисна зона навколо НВАЕС [109] має радіуси: 2,25 км - від венттруби 3 і 4 блоків і 2 км - від венттруби 5 блоку. ДТ має радіус 20 км від НВАЕС. Площа СЗЗ ~ 17,8 км², площа ДТ - 2 809,7 км².

На північ від проммайданчика на відстані 3-7 км розташоване м Нововороніж (35,6 тис. жителів), містоутворюючим підприємством якого є НВАЕС. У 45 км на північ і в 50 км до південного сходу від АЕС знаходяться два великих населених пункти: м. Воронеж (число жителів близько 887 тис. чол.) і м. Лиски (54 тис. жителів) відповідно. Загальна площа забруднених земель навколо НВАЕС на 01.01.2007 склала 0,161 км², з яких 0,009 км² знаходяться на проммайданчику, 0,152 км² - в СЗЗ, 0,00015 км² - у ДТ

Джерелами викидів на НВАЕС є: венттруби енергоблоків (3 труби, висотою 120 м кожна), вентсистеми гарячої камери, сховища радіоактивних відходів.

Дані щодо газоаерозольних викидів регламентованих радіонуклідів на НВАЕС в атмосферу за період 2005-2012 рр. [97–100] та середнє значення наведено в табл. 1.36.

Таблиця 1.36 – Викиди радіонуклідів в атмосферу з НВАЕС, Бк

Радіонуклід	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012	Середнє
⁶⁰ Со	3,51E+08	2,87E+08	5,59E+08	4,12E+08	1,30E+09	3,53E+08	4,60E+08	5,32E+08
¹³¹ I	1,74E+09	1,90E+09	3,36E+09	2,54E+09	1,96E+09	1,80E+08	4,80E+08	1,74E+09
¹³⁴ Cs	4,15E+07	3,83E+07	7,10E+07	1,09E+08	2,80E+08	9,53E+07	1,00E+08	1,05E+08
¹³⁷ Cs	1,37E+08	7,12E+07	1,11E+08	1,55E+08	1,78E+08	1,80E+08	2,40E+08	1,53E+08
Сума ІРГ	1,08E+14	4,55E+13	7,56E+13	1,10E+14	9,50E+13	3,66E+13	1,50E+13	6,94E+13

1.6.4 Курская АЕС

Курская АЕС - атомна електростанція в Росії, розташована в м. Курчатове Курської області, в 40 км на захід від м. Курская АЕС на березі річки Сейм. Складається з чотирьох енергоблоків загальною потужністю 4 ГВт.



Рисунок 1.17 – Курская АЕС

У 2018 году Курская АЕС (рис. 1.17) виробила електроенергії 24,773 млрд кВт*год. На неї припадає 12,1% всієї виробленої енергії Концерну «Росенергоатом» у 2018 році. Дві Черги Курської АЕС (по два енергоблока кожна) введені в експлуатацію в 1976–1985 роках. Курская АЕС стала другою станцією з реакторами типу РВПК -1000 після Ленинградської АЕС, введеної в експлуатацію в 1973 році.

Кожен енергоблок включає в себе наступне обладнання:

- уран-графітовий реактор РБМК-1000, з допоміжними системами.
- дві турбіни К-500-65/3000.
- два генератора ТВВ-500-2 потужністю 500 МВт кожен [110].

Географічне розташування: 51°41'22" пн. ш. 35°34'28" сх. д.

Основні характеристики Курської АЕС наведено у таблиці 1.37.

Таблиця 1.37 – Основні характеристики Курської АЕС [110-112]

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність	Введення в експлуатацію	Закриття
Курск-1	РБМК-1000	925 МВт	12.10.1977	19.12.2021 (план)
Курск-2	РБМК-1000	925 МВт	17.08.1979	31.01.2024 (план)
Курск-3	РБМК-1000	925 МВт	30.03.1984	27.12.2028 (план)
Курск-4	РБМК-1000	925 МВт	05.02.1986	21.12.2030 (план)
Курск-5	РБМК-1000	925 МВт	Будівництво 15.08.2012	зупинено
Курск-6	РБМК-1000	925 МВт	Будівництво 01.12.1993	зупинено
Курск 2-1	ВВЕР-ТОІ	1115 МВт	2023 (план)	
Курск 2-2	ВВЕР-ТОІ	1115 МВт	2024 (план)	
Курск 2-3 (план)	ВВЕР-ТОІ	1115 МВт	2026 (план)	
Курск 2-4 (план)	ВВЕР-ТОІ	1115 МВт	2029 (план)	

У 2006 р. середня річна температура повітря в районі АЕС [113] становила +6,6 ° С, абсолютний максимум – +34,3 ° С, абсолютний мінімум – -32,9 ° С.

Середньорічна відносна вологість повітря в 2006 р становила 77%; річна кількість атмосферних опадів – 582 мм, в 2012 – 546,3 мм. Переважним напрямком вітру в районі КуАЕС було західне, в 2012 – східне, максимальна швидкість вітру спостерігалася в грудні–лютому і становила 19 м/с, середньорічна швидкість – ~ 2,3 м/с; навесні 2012 року – 17 м/с, середньорічна швидкість – 2,5 м/с.

В таблиці 1.38 та на рис. 1.18 наведено розподіл напрямку вітру у м. Курчатове.

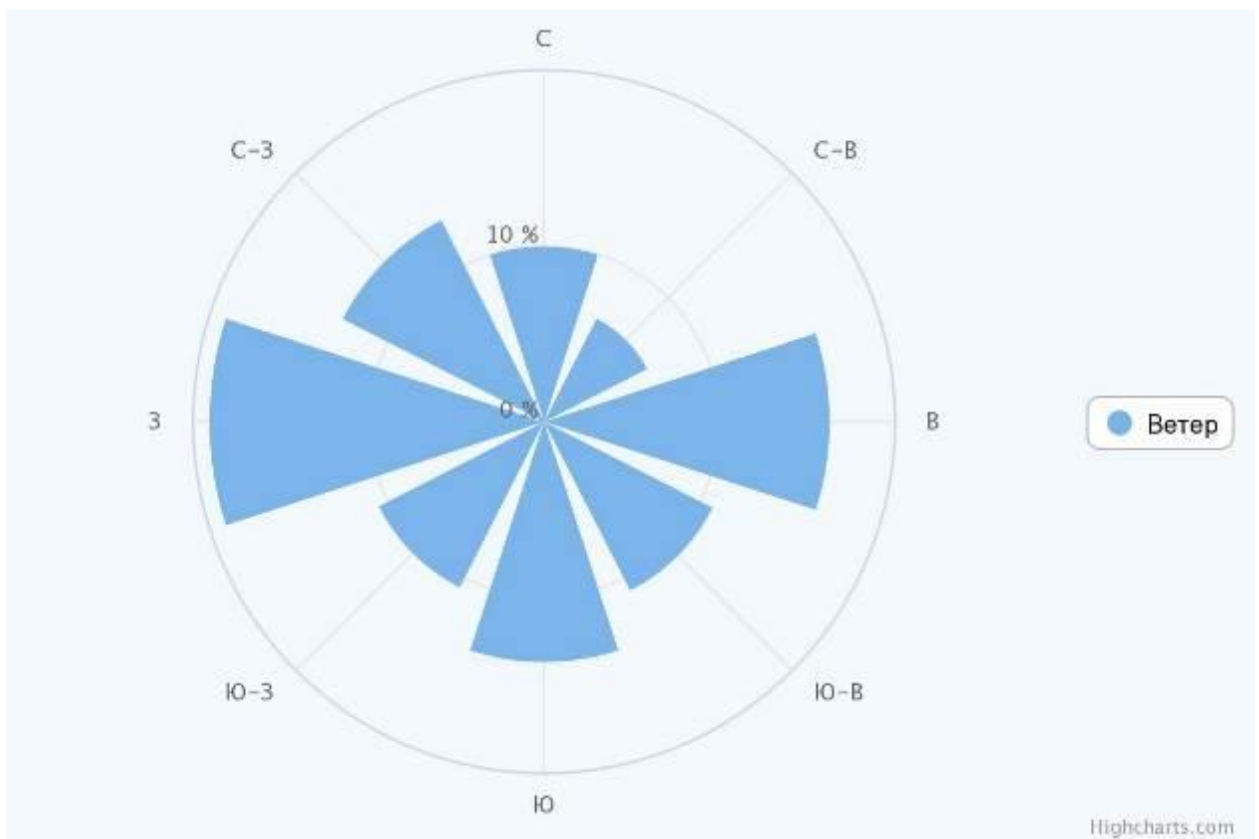


Рисунок 1.18 – Розподіл напрямків вітру в Курчатове [113]

Таблиця 1.38 – Розподіл напрямків вітру в Курчатове

Півн.	Півн.- Сх.	Сх.	Півд.- Сх.	Півд.	Півд.- Зах.	Зах.	Півн.- Зах.
10%	6.6%	16.3%	10.8%	13.7%	10.6%	19.1%	12.9%

У 2006–2007 рр. на Курській АЕС (КуАЕС) експлуатувались чотири енергоблоки (№ 1 і № 2 – перша черга, № 3 і № 4 – друга черга) з

реакторами РВПК-1000, введені в експлуатацію в 1976, 1979, 1983 і 1985 рр. Проектна потужність кожного блоку становить 1 000 МВт (електрична) і 3140 МВт (теплова), а в 2012 році теплова потужність була збільшена до 3200 МВт [20]. КуАЕС розташована в 3 км від м. Курчатова (кількість жителів - 48 тис. чол.) і приблизно в 40 км від м. Курска на лівому березі р. Сейм в його середній течії. Сейм впадає в р. Десну, яка впадає в р. Дніпро.

У 2005 році встановлено наступні межі СЗЗ і ЗС КуАЕС [20]: радіус СЗЗ становить 1,7 км, а ДТ - 19 км. У зоні спостереження проживає 83,7 тис. чол. У міських населених пунктах частка дітей становить 20-30% населення, в сільській місцевості - 12-18%.

Газоаерозольні радіоактивні викиди КуАЕС здійснюються через вентиляційну трубу висотою 150 м і венттрубу машзалу висотою 60 м. Перед викидом в атмосферу повітря проходить очистку через аерозольні фільтри. Для зменшення активності викидів в навколишнє середовище використовується камера витримки (перша черга) та установка придушення активності (друга черга). Дані про викиди регламентуються радіонуклідів на КуАЕС в атмосферу в 2005- 2012 рр. наведені в табл. 1.39 [97-100].

Таблиця 1.39 – Викиди радіонуклідів КуАЭС, Бк

Радіонуклід	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Середнє
⁶⁰ Со	3,91E+07	1,79E+08	1,79E+08	2,78E+08	3,33E+08	3,24E+08	2,26E+08	2,78E+08	2,23E+08
¹³¹ І	2,59E+09	1,63E+09	2,59E+09	1,55E+09	1,32E+09	3,46E+09	5,04E+09	1,55E+09	2,60E+09
¹³⁴ Сs	9,59E+06	2,14E+06	9,59E+06	2,75E+07	7,84E+06	1,88E+07	2,11E+07	2,75E+07	1,38E+07
¹³⁷ Сs	6,28E+07	2,45E+07	6,28E+07	6,69E+07	5,07E+07	6,85E+07	6,19E+07	6,69E+07	5,69E+07
Сума ІРГ	3,36E+14	4,03E+14	3,36E+14	2,70E+14	2,97E+14	6,10E+14	5,52E+14	2,70E+14	4,01E+14

2 ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ

Для розрахунків поширення викиду при аварійних ситуаціях використовувався програмний комплекс PC COSYMA, а для розрахунків поширення викидів при стаціонарних умовах експлуатації застосовувався програмний комплекс PC CREAM.

2.1 Програмний комплекс PC COSYMA

Для моделювання розповсюдження радіоактивних речовин у атмосферному повітрі і формування доз опромінення, обумовлених викидами за умов аварійних ситуацій, використовувався програмний комплекс PC COSYMA, розроблений у National Radiological Protection Board (Національний комітет з радіаційного захисту, Англія).

PC COSYMA (Code System for MARIA) – це пакет програм для моделювання наслідків аварійних викидів радіоактивних речовин у атмосферне повітря. PC COSYMA була розроблена сумісно Національною комісією з радіаційного захисту (Великобританія) і Forschungszentrum Karlsruhe (Німеччина) як частина проекту MARIA (Methods for Accidental Radiation Impact Assessment) Європейської Комісії для ЄС.

Опис програмного комплексу PC COSYMA та його окремих модулів наведені у роботі [114].

Система дозволяє оцінити наступні параметри і наслідки:

- інтегральну об'ємну активність радіонуклідів у приземному шарі повітря і активність, що була осаджена на поверхню ґрунту у певних точках місцевості;
- очікувані індивідуальні і колективні дози за обрані періоди часу;
- кількість людей, охоплених контрзаходами (укриття, евакуація, роздавання пігулок зі стабільним йодом, переселення, дезактивація, обмеження

використання с/г продукції) и площа території, на якій застосовуються контрзаходи;

- кількість забороненої для використання сільськогосподарської продукції;
- кількість латентних і не латентних захворювань;
- економічну вартість проведення контрзаходів і лікування.

Система може використовуватись для детерміністичних і вірогідних оцінок. Детерміністичні оцінки дають можливість розраховувати наслідки для одного завданого користувачем набору метеорологічних умов, а вірогідні – приймають до уваги ймовірний розбіг метеоумов, які можуть бути під час аварії.

Моделювання транспорту домішок у атмосфері виконується у модулі MUSEMET. В цьому модулі використовується модель сегментованої Гаусової плями, яка враховує погодинні зміни швидкості і напрямку вітру, категорії стабільності атмосфери і кількості опадів, що впливають на викинуті речовини. Модель припускає, що метеоумови в усьому регіоні, що підпадає під вплив, однакові. Погодинні зміни метеоумов враховуються тільки при вірогідній оцінці. При детерміністичній оцінці приймається, що метеоумови (швидкість і напрямок вітру, категорія стабільності атмосфери і кількість опадів) не змінюються в плин всього періоду, що обчислюється. MUSEMET використовує висоту шару атмосфери, що перемішується, горизонтальні і вертикальні дисперсійні коефіцієнти, які є функціями стабільності атмосфери. Дисперсійні коефіцієнти мають дві величини параметрів – для гладких (с/г регіони) и нерівних (міста) поверхонь.

2.2 Тестування РС COSYMA

Фактори метеорологічного розведення при короткочасному викиді радіонуклідів в атмосферу наведені в довіднику [115].

Дані виді графіків розраховані по формулі гауссової моделі для концентрації домішки в приземному шарі повітря на осі струменя. Наведені

фактори метеорологічного розведення нормовані на швидкість вітру $v = 1$ м/с.

При розрахунках цих графіків використана запропонована Смитом-Хоскером залежність коефіцієнтів дисперсії. Ця залежність небагато відрізняється від використаної в програмі PC COSYMA. При порівнянні ми використовуємо висоту шорсткості 10 см, характерну для безлісної або степової місцевості.

Наведені фактори метеорологічного розведення розраховані без обліку виправлень на троянду вітрів і процеси виснаження домішок в атмосфері внаслідок радіоактивного розпаду, сухого осідання й мокрого осідання з опадами.

Для порівняння наших розрахунків з наведеними в довіднику використана категорія погоди "D" по Пасквиллу, висота викиду 100 м. Наші розрахункові дані показані зірочками, а дані з довідника наведені у вигляді суцільної кривої. Результати показані на рис. 2.1.

Як слідує з наведених на рис. 2.1 даних, спостерігається гарне співпадіння наведених у довіднику даних і розрахунками, зробленими нами по програмі PC COSYMA. Невеликі відмінності викликані використанням більше вдосконаленої моделі для залежності коефіцієнтів дисперсії від відстані, адже програма PC COSYMA створена більш ніж на 10 років пізніше часу проведення розрахунків, які ввійшли в довідник. Ще один можливий фактор невеликих відмінностей - неточності при копіюванні розрахункової кривої з довідника.

Таким чином, використана нами програма PC COSYMA добре погодиться з існуючими розрахунковими даними, що дозволяє нам затверджувати, що використана програма придатна для проведення необхідних розрахунків.

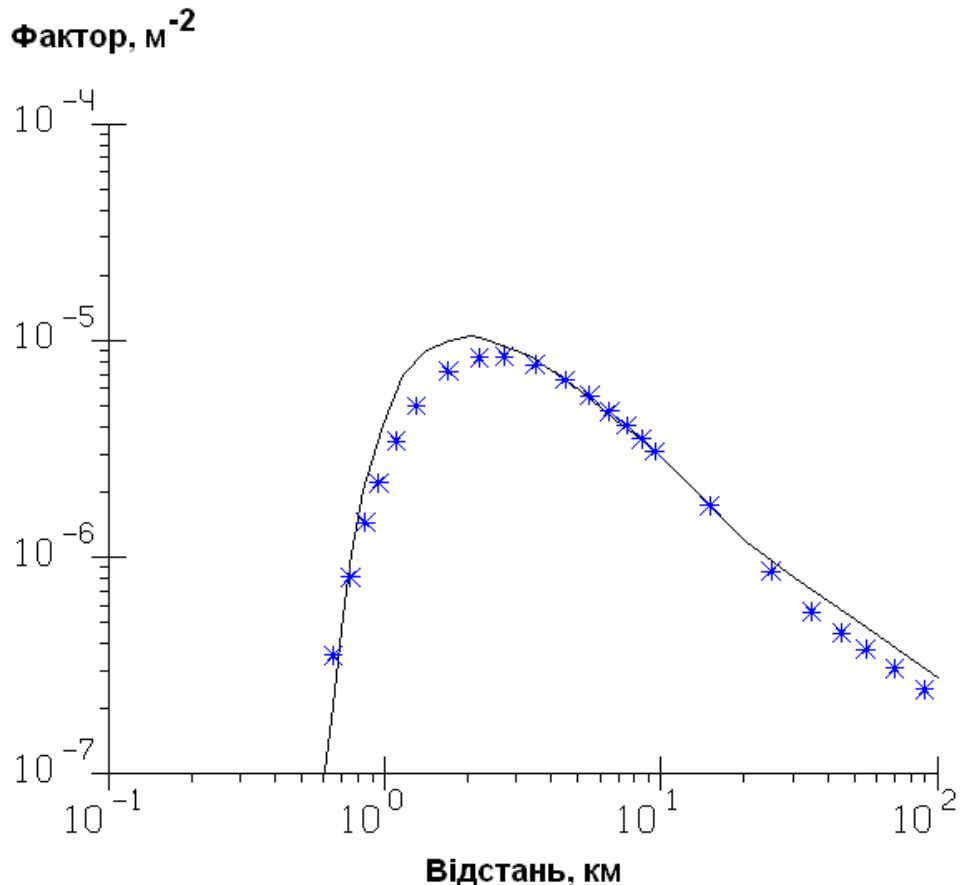


Рисунок 2.1 – Короткочасний фактор метеорологічного розведення в приземному шарі повітря на осі струменя при категорії D, шорсткості поверхні 10 см та висоті викиду 100 м.

Зірочки - розрахунок за програмою PC COSYMA, суцільна крива – дані з довіднику [123]

2.3 PC CREAM

2.3.1 Короткий опис моделі

Описи програмного комплексу PC CREAM і його окремих модулів наведені в роботі [116]. Система призначена для розрахунку радіаційного впливу тривалих (безаварійний) викидів в атмосферу та скидів у річки і моря радіоактивних речовин. Нижче наведені деякі основні можливості програмного комплексу:

✓ оцінка індивідуальних і колективних доз від викидів в атмосферу і скидів у море, а також індивідуальних доз від скидів у річки;

✓ ефективні дози (визначені за Публікацією МКРЗ № 60 [117]) обчислюються з використанням дозових коефіцієнтів з Публікації МКРЗ № 72 [126] (в Україні при розробці норм і правил з радіаційної безпеки також використовуються рекомендації МКРЗ);

✓ можуть розглядатися три вікові групи: діти до 1 року, діти до 10 років та дорослі;

✓ вхідні дані — це усереднені викиди і скиди за рік;

✓ передбачена можливість вибору п'яти часів інтегрування (1, 50, 500, 1000 років і нескінченність) для колективних доз і трьох часів інтегрування (1, 5 і 50 років) для індивідуальних доз;

✓ час інтегрування після потрапляння радіонуклідів в організм людини приймається рівним 50 рокам для дорослих і 70 рокам для дітей;

✓ доза, проінтегрована по n років для одного року викиду та / або скидання чисельно дорівнює середній дозі в n -й рік для постійного викиду та / або скидання;

✓ моделювання розповсюджується на відстань до 3000 км;

✓ для викидів в атмосферу враховуються всі шляхи опромінення, а в моделях, що описують скиди у водні об'єкти, не враховується можливість використання води з водоймищ для сільськогосподарського зрошення.

У PC CREAM атмосферна дисперсія оцінюється за допомогою Гаусової моделі, сухе осадження — за допомогою моделі виснаження джерела, вологе осадження — з використанням коефіцієнтів вимивання. Модель атмосферної дисперсії, що використана, дозволяє враховувати напрацювання одного дочірнього продукту під час руху плями. Після осадження транспорт радіонуклідів представляється окремими камерними моделями ґрунту і продуктів харчування [118].

У PC CREAM зовнішнє опромінення від радіонуклідів в повітрі розраховується за допомогою кінцевої і нескінченної моделей хмари для гамма-і бета-випромінювані, відповідно.

2.3.2 Математичні моделі розсіювання шлейфу

Розсіювання шлейфу моделюється модифікованим рівнянням Гаусса [118]:

$$\bar{A}(x, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} x \sigma_z \mu} \sum_{s=0}^{\infty} \exp \left[-\frac{(2sL \pm h_{\text{эф}} \pm z)^2}{2\sigma_z^2} \right], \quad (2.1)$$

де \bar{A} – середня активність в повітрі в точці (x, z) , Бк/м³;

Q – швидкість викиду радіонуклідів зі труби, Бк/с;

x – відстань з підвітряного боку, м;

μ – середня швидкість вітру, м/с;

σ_z – вертикальний коефіцієнт дисперсії, м;

$h_{\text{эф}}$ – ефективна висота труби, м;

L – висота шару, що перемішується, м;

$s = 0, 1, 2, 3, \dots$

В РС CREAM використовує фіксовані величини швидкості вітру і висоти шару, що перемішується, для кожної категорії стабільності атмосфери, які наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Швидкість вітру і висота шару, що перемішується, які використовуються в РС CREAM

Клас стійкості за Паскуіллом	Швидкість вітру на висоті 10 м, м/с	Висота перемішуємо шару, м	Дош
<i>A</i>	1	1300	Ні
<i>B</i>	2	900	Ні
<i>C</i>	5	850	Ні
<i>D</i>	5	800	Ні
<i>E</i>	3	400	Ні

Продовження таблиці 2.1

Клас стійкості за Паскуїллом	Швидкість вітру на висоті 10 м, м/с	Висота перемішуємо шару, м	Дощ
<i>F</i>	2	100	Ні
<i>C</i>	5	850	Є
<i>D</i>	5	800	Є

Коефіцієнти дисперсії

Вертикальний коефіцієнт дисперсії σ_z , що використовується для обчислення розсіювання:

$$\sigma_z = \frac{ax^b}{1 + cx^d} F(z_0, x), \quad (2.2)$$

$F(z_0, x)$ – поправка на нерівність місцевості:

$$F(z_0, x) = \ln \left(fx^g \left[1 + \frac{1}{hx^j} \right] \right), \text{ при } z_0 > 0,1 \text{ м}, \quad (2.3)$$

$$F(z_0, x) = \ln \left(fx^g \left[\frac{1}{1 + hx^j} \right] \right), \text{ при } z_0 \leq 0,1 \text{ м}, \quad (2.4)$$

z_0 – висота шорсткості землі, м; величини коефіцієнтів a, b, c і d в рівнянні (2.2), f, g, h і j в рівняннях (2.3) та (2.4) наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Коефіцієнти для обчислення вертикального коефіцієнта дисперсії і коефіцієнти для правки на нерівність місцевості

Клас стійкості за Паскуїллом	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>A</i>	0,112	1,06	$5,38 \cdot 10^{-4}$	0,815
<i>B</i>	0,130	0,950	$6,52 \cdot 10^{-4}$	0,750
<i>C</i>	0,112	0,920	$9,05 \cdot 10^{-4}$	0,718
<i>D</i>	0,098	0,889	$1,35 \cdot 10^{-3}$	0,688

Продовження таблиці 2.2

Клас стійкості за Паскуіллом	A	b	C	D
<i>E</i>	0,0609	0,895	$1,96 \cdot 10^{-3}$	0,684
<i>F</i>	0,0638	0,783	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,672
Шорсткість землі, м	F	g	H	J
0,01	1,56	0,0480	$6,25 \cdot 10^{-4}$	0,45
0,04	2,02	0,0269	$7,76 \cdot 10^{-4}$	0,37
0,1	2,72	0	0	0
0,4	5,16	-0,098	18,6	-0,225
1,0	7,37	-0,0957	$4,29 \cdot 10^3$	-0,60
4,0	11,7	-0,128	$4,59 \cdot 10^4$	-0,78

2.3.4 Виснаження шлейфу

Сухе осадження

Сухе осадження змодельоване таким чином: $R_{\text{сух}} = V_{\Gamma} \cdot A$, де $R_{\text{сух}}$ - швидкість осадження радіонукліда на одиницю площі (Бк/($\text{м}^2 \cdot \text{с}$)); V_{Γ} - швидкість осадження (м/с); A - концентрація радіонуклідів у повітрі в приземному шарі (Бк/м³).

Вологе осадження

Частка часток, обложених з шлейфу за допомогою дощу або снігу, моделюється наступним рівнянням:

$$R_{\text{вл}} = \frac{\Phi Q'_{\text{вл}}(t)}{\chi \alpha \mu},$$

де: $R_{\text{вл}}$ – швидкість осадження на поверхню ($\text{Бк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$); Φ – коефіцієнт вимивання (с^{-1}); $Q'_{\text{вл}}$ – активність радіонуклідів, що залишилася в шлейфі по досягненні цікавої точки x (м) від точки викиду за весь час t ($\text{Бк}/\text{м}^3$):

$$Q'_{\text{вл}}(t) = \frac{Q_0 f_{\text{вл}}}{m_1 - m_2} \left[(m_1 + \Phi) e^{m_2 t} - (m_2 + \Phi) e^{m_1 t} \right], \quad (2.5)$$

$$2m_1 = -(\Phi + P_{\text{сух}} + P_{\text{вл}}) - \sqrt{(\Phi + P_{\text{сух}} + P_{\text{вл}})^2 - 4\Phi P_{\text{сух}}},$$

$$2m_2 = -(\Phi + P_{\text{сух}} + P_{\text{вл}}) + \sqrt{(\Phi + P_{\text{сух}} + P_{\text{вл}})^2 - 4\Phi P_{\text{сух}}},$$

$$f_{\text{вл}} = P_{\text{сух}} / (P_{\text{сух}} + P_{\text{вл}}),$$

$P_{\text{сух}}$ и $P_{\text{вл}}$ – ймовірності сухої та вологої погоди, відповідно; α – кутова ширина сектора, рад; μ – середня швидкість вітру.

Фактор виснаження

Частка віддалених з шлейфу радіонуклідів:

$$F = F_{\text{вл}} \cdot F_{\text{сух}} \cdot F_{\text{рас}}$$

Частка видалення радіонуклідів за допомогою опадів:

$$F_{\text{вл}} = \frac{f_{\text{вл}}}{m_1 - m_2} \left[(m_1 + \Phi) e^{m_2 t} - (m_2 + \Phi) e^{m_1 t} \right],$$

де позначення аналогічні формулі (2.5).

Частка віддалених з шлейфу радіонуклідів за рахунок сухого осадження:

$$F_{\text{сух}} = \left[\exp F_{0\text{сух}}(x) \right]^{V_r / \mu},$$

де

$$F_{0\text{сух}}(x) = -\sqrt{\frac{2x}{\pi}} \int_0^x \frac{1}{\sigma_z} \left\{ \exp \left[-\frac{h_{\text{эфф}}^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[-\frac{(h_{\text{эфф}} + 2L)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\} dx$$

при $\sigma_z(x) < L$, и $F_{0\text{сух}}(x) = F_{0\text{сух}}(xL) - (x - xL)/L$ при $\sigma_z(x) \geq L$. Тут xL таке, при якому $\sigma_z(xA) = L$.

Частка зменшення кількості радіонуклідів в шлейфі за рахунок радіоактивного розпаду становить:

$F_{\text{рас}} = \exp(-\lambda x/\mu)$. Концентрації дочірніх продуктів розраховуються заміною Q на $Q_{\text{Рд}}$ в рівнянні (2.1), де:

$$R_{\text{д}} = \frac{\lambda_{\text{д}}}{\lambda_{\text{м}} - \lambda_{\text{д}}} \left[\exp\left\{-\lambda_{\text{д}} \frac{x}{\mu}\right\} - \exp\left\{\lambda_{\text{м}} \frac{x}{\mu}\right\} \right],$$

тут $\lambda_{\text{д}}$, $\lambda_{\text{м}}$ – постійні розпаду дочірнього і материнського радіонукліда, відповідно.

2.3.3 Камерні експоненціальні моделі

Динаміку обміну домішки в системах моделюють диференціальними рівняннями 1-го порядку [2.6]:

$$\frac{dA_i}{dt} = \dot{A}_{0,i} + \sum_n k_{ni} A_n - \sum_j k_{ij} A_i, \quad (2.6)$$

де A_i – зміст даних радіонуклідів у ланці i ;

$\dot{A}_{0,i}$ – швидкість надходження радіонуклідів в ланку i ззовні системи;

k_{ij} – константа перенесення даних нуклідів з ланки i в ланку j .

Позитивні члени суми в (2.6) являють собою інтенсивність надходження домішки в ланку i з інших ланок, а негативні – інтенсивність стоку домішки з нього внаслідок виносу в інші ланки і радіоактивного розпаду. члени виду $k_{ij} A_i$ являють собою швидкість перенесення домішки із ланки i в ланку j . Рішення системи рівнянь (2.6) має вигляд многочлена, кожен доданок з точністю до коефіцієнта являє собою ряд експонент $\exp(-a_i t)$, a_i – деякі постійні. Основним недоліком такої моделі є припущення незалежності від часу констант переносу k_{ij} . У дійсності ж міграція

радіонуклідів у зовнішньому середовищі часто має більш складний характер.

2.3.4 Модель міграції для сільськогосподарських (с/г) рослин

Схема міграції наведена на рис. 2.2. ланка 1 являє собою орний шар ґрунту з рівномірно розподіленою активністю, 2 — надземні частини рослин, безпосередньо забруднені випадіннями, 3 — надземні частини рослин, забруднені частками ґрунту, що потрапили на них при збиранні врожаю, 4 — коренева система рослин, 5 — шар ґрунту нижче коренемешкуючого горизонту. Константи k_{ij} (c^{-1}) відповідають переходам між ланками в результаті наступних процесів: k_{12} — вторинного пилоутворення; k_{21} — здування вітрів і змивання дощем; k_{13} — забруднення надземних частин рослин частинками ґрунту в момент збирання врожаю ; k_{14} — надходження внаслідок кореневого засвоєння; k_{15} — стоку за межі кореневого шару ґрунту; k_{22} , k_{33} , k_{44} — періодичної збирання врожаю; k_{31} , k_{41} — формальні константи переносу, що забезпечують пропорційність змісту нуклідів в ланках 1, 3, 4. Значення констант переходу приведені в табл. 5.3 і табл. 2.4.

Таблиця 2.3 — Константи переносу для с/г рослин загальні для всіх елементів, c^{-1}

Константа переносу	Зернові	Інші с/г рослини	Константа переносу	Зернові	Інші с/г рослини
k_{12}	7-9	7-9	k_{41}	1	1
k_{21}	2,7-4	2,7-4	k_{15}	2,2-10	2,2-10
k_{13}	8,9-9	4,4-8	k_{22} , k_{33}	3,2-8	3,2-8
k_{31}	1	1	k_{44}	3,2-8	3,2-8

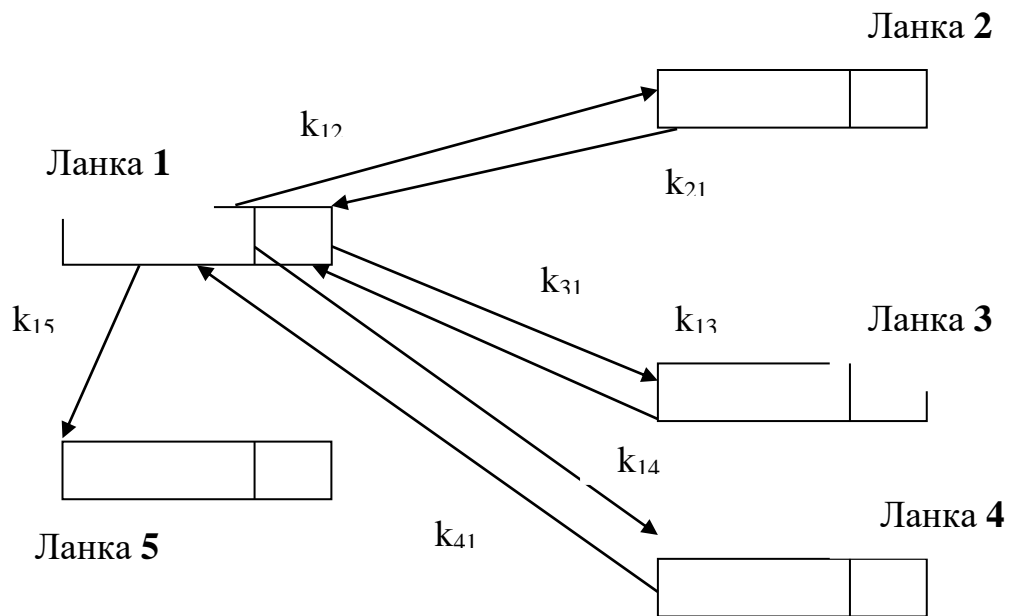


Рисунок 2.2 – Схема міграції радіонуклідів для с/г рослин

Таблиця 2.4 – Константи переносу для с/г рослин (залежні від хімічного елемента) k_{14}, c^{-1}

Елемент	Зернові	Інші с/г рослини	Елемент	Зернові	Інші с/г рослини
Cr	2,7-7	6,7-7	Ru	5,3-5	8,9-6
Mn	2,7-5	6,7-5	Ag	1,8-4	4,4-4
Fe	3,6-7	4,4 -7	Sb	8,9-6	2,2-5
Co	8,9-6	2,2-6	Te	8,9-4	2,2-3
Zn	3,6-4	8,9-4	I	1,8-5	4,4-5
Rb	8,9-5	2,2-4	Cs	5,3-6	4,4-5
Sr	1,8-5	1,6-3	Ba	4,4-6	1,1-5
Y	2,7-6	6,7-6	La	2,7-6	6,7-6
Zr	1,8-7	4,4 -7	Ce	2,7-6	1,6-5
Nb	8,9-6	2,2-5	Np, Pu	8,9-10	2,2-7
Mo	8,9-5	2,2-4	Am, Cm	8,9-19	2,2-7
Tc	4,4 -2	0,11			

2.3.5. Математичні моделі розрахунку доз

2.3.5.1 Розрахунок індивідуальних доз по харчових ланцюжках

Індивідуальні дози по харчовому шляхи надходження радіонуклідів розраховуються в припущенні, що споживаються тільки місцеві продукти харчування. Така оцінка дає максимально можливі рівні опромінення в даних умовах. Вони практично завжди перевищують реальні дози, оскільки зазвичай в раціоні присутня частина продуктів не місцевого виробництва. Для деяких з них, наприклад молока, листових овочів, фруктів з індивідуальних ділянок, такі оцінки можуть бути досить близькими до реальних. При зазначеному припущенні середня потужність індивідуальної річної ефективної дози \dot{H} , Зв/с, від рівномірних випадінь \dot{A}_S , Бк/(м²·с), при сталому рівновазі процесів накопичення-виведення радіонуклідів у зовнішньому середовищі:

$$\dot{H} = \dot{A}_S K_{fi}^{ind} V_{ig},$$

де V_{ig} – дозовий коефіцієнт внутрішнього опромінення при надходженні радіонукліда з водою або їжею, Зв/Бк; K_{fi}^{ind} – коефіцієнт, що зв'язує рівень випадання (Fallout) з надходженням радіонукліду з харчовими продуктами в організм окремого індивідуума (Ingestion), м²:

$$K_{fi}^{ind} = K_{fi} \bar{S}, \quad (2.7)$$

де K_{fi} – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує втрату радіонуклідів при міграції по харчовому ланцюжку, в процесі кулінарної обробки і при зберіганні; \bar{S} – площа с/г, що вимагає для виробництва продуктів харчування даного виду, споживаних окремим індивідуумом, м². Цей параметр в PC CREAM розраховується за такими формулами:

для продуктів рослинного походження:

$$\bar{S} = \frac{I_m}{P_y},$$

де P_y – річна врожайність розглянутого виду рослин, кг/м²; I_m – річне споживання цього виду рослин однією людиною, кг;

для продуктів тваринного походження:

$$\bar{S} = \left(\frac{I_m}{P_a} \right) \sum_i \bar{S}_{a,i},$$

де I_m – річне споживання м'яса або молока однією людиною, кг (л); P_a – річна продуктивність однієї тварини (середньорічний приріст м'яса у розрахунку на одну тварину, кг (л)); $\bar{S}_{a,i}$ – площа і-й кормової культури, припадає на одну тварину. Цей параметр визначається за формулою:

$$\bar{S}_{a,i} = \frac{I_{a,i}}{P_{y,i}},$$

де $P_{y,i}$ – річна врожайність і-й кормової культури, кг/м²; $I_{a,i}$ – її річне споживання одним тваринам, кг.

Значення можуть розрізнятися для мешканців не тільки різних республік, країн і областей, а й одного селища. Оскільки точних даних для селищ, що знаходяться поблизу АЕС немає і, крім того, для порівняльного аналізу впливу доцільно використовувати максимально ідентичні параметри (без шкоди для оцінок), то для оцінок в даній роботі середнє значення цього параметра отримано зі статистичних даних, ділячи площі, зайняті під дану культуру, на число споживачів в країні.

Величина K_{fi} в (2.7) – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує втрату радіонуклідів при їх міграції по харчовому ланцюжку, в процесі кулінарної обробки і при зберіганні. Якщо розглядати площі s/x , необхідні для виробництва продуктів одного виду рослин, то цей коефіцієнт являє собою частку від загальної кількості випали на дану площу радіонуклідів, яка збережеться в продуктах до моменту вживання їх в їжу. Значення

коефіцієнта K_{fi} розрізняються для різних радіонуклідів, продуктів харчування, місцевих кліматичних умов, типу ґрунтів, умов випадіння (короткочасних або безперервних).

2.3.5.2 Індивідуальні дози опромінення при прямому шляху впливу

Під прямим шляхом опромінення розуміють зовнішнє опромінення від фотонів і β - частинок радіонуклідів, що містяться в атмосфері і відклалися на ґрунті, а також внутрішнє опромінення обумовлене радіонуклідами, які надійшли у організм з повітрям (інгаляційний шлях). У цих випадках індивідуальні дози формуються безпосередньо в районі розташування джерела викидів.

Доза фотонного випромінювання від радіоактивної хмари

Радіонукліди, розповсюджені в атмосфері, можуть бути джерелами фотонного випромінювання. При цьому доза від радіоактивних газів і аерозолів в значній мірі залежить від фізико-хімічної форми радіонуклідів і, звичайно, виду та енергії випромінювання [2.6].

Джерело у формі напівнескінченного простору

При тривалому викиді з мінливою розвою вітрів та інших метеорологічних параметрів радіоактивна хмара імітується джерелом у формі напівнескінченного простору з рівномірно розподіленим за обсягом активністю A_V , Бк/м³. Тоді потужність ефективної дози, Зв/с, розраховується за формулою:

$$\dot{H} = A_V B_{a\gamma}, \quad (2.8)$$

де $B_{a\gamma}$ – дозовий коефіцієнт зовнішнього опромінення фотонами, Зв·м³/(с·Бк). Для 2π - геометрії опромінення:

$$B_{a\gamma} = \frac{E * 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ r}}{2w\rho}, \quad (2.9)$$

де $E = \sum_i n_i E_i$ – енергетичний вихід фотонів, МеВ/расп. (n_i – абсолютний вихід у схемі розпаду, фотон /розпод.; E_i – енергія i -го фотону, МеВ/фотон); $1,602 \cdot 10^{-13}$ – енергетичний еквівалент, Дж/МеВ; $r = 1,09$ – перехідний коефіцієнт від поглиненої дози в повітрі до еквівалентної дози в біологічній тканині, Зв/Гр; $\rho = 1,293$ – щільність повітря при нормальних умовах, кг/м³. 2 – коефіцієнт, що враховує 2π - геометрію опромінення людини, w – енергетичний еквівалент Грея, віднесений до маси 1 кг опромінюваного середовища (в даному випадку повітря), $w = 1$ Дж/(Гр·кг).

Залежно від обраних одиниць дозовий коефіцієнт (2.9) представляється у вигляді:

$$B_{ay} = 2,13 \cdot E \text{ мкЗв} \cdot \text{м}^3 / (\text{рік} \cdot \text{Бк})$$

Доза фотонного випромінювання від радіонуклідів, які осіли на ґрунт

Співвідношення між потужністю викиду \dot{Q} (Бк/с) і потужністю ефективної дози \dot{H} (Зв/с):

$$\dot{H} = \dot{A}_S B_{S\gamma} \tau_{ef}, \quad (2.10)$$

де τ_{ef} – ефективний період, що враховує радіоактивний розпад і виведення радіонукліда з ґрунту, він визначається формулою $\tau_{ef} = [(T_{1/2} T_b) / (T_{1/2} + T_b)] / 0,693$, $T_{1/2}$ и T_b – періоди радіоактивного напіврозпаду і біологічного напіввиведення; \dot{A}_S – інтенсивність забруднення, Бк/(с·м²); дозовий коефіцієнт $B_{S\gamma}$, Зв·м²/(с·Бк) характеризує потужність ефективної дози від забрудненого ґрунту, він залежить від характеру забруднення ґрунту та виду розподілу фотонного забруднення.

Доза від зовнішнього β -опромінення радіонуклідів

Під узагальненим терміном β -випромінювання розуміється випромінювання електронів радіоактивними ядрами. Якщо вони несуть негативний заряд, їх називають β^- -частками, якщо позитивний β^+ -частками, або позитронами. Спектр енергій β -частинок є безперервним і простягається

від дуже низьких значень до 10 MeV, але основний практично значимий діапазон знаходиться в межах від 10 keV до 5 MeV. У діапазоні зазначених вище енергій електрони при взаємодії з речовиною втрачають свою енергію в результаті процесів гальмування. Розрізняють гальмівну здатність, рівну середній втраті енергії на одиницю довжини шляху за рахунок кулонівських зіткнень зі зв'язаними електронами середовища $S_C [-dE/dx]$, мєВ/см. Цей процес призводить до іонізації і збудження атомів. Другий процес - втрати енергії за рахунок гальмівного (фотонного) випромінювання в електричному полі атомних ядер і електронів називають радіаційної гальмівної здатністю S_r , мєВ/см. На практиці зазвичай використовують масову гальмівну здатність $S = S/\rho$, де ρ - щільність середовища.

Джерело - забруднення повітря

У цьому випадку розрахунок доз проводиться за "методом занурення", імітуючи джерело у формі напівнескінченного простору. Для β -опромінення завжди дотримується геометрія опромінення 2π . Потужність еквівалентної дози на незахищену одягом біологічну тканину \dot{H} , Зв/с:

$$\dot{H} = A_V V_{a\beta}, \quad (2.11)$$

де A_V – об'ємна активність, Бк/м³; $V_{a\beta}$ – дозовий коефіцієнт зовнішнього β -опромінення, Зв·м³/(с·Бк), значення $V_{a\beta}$ приведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Дозові коефіцієнти в базальному шарі шкіри, створювані β - частинками і електронами конверсії радіонуклідів, що містяться в напівнескінченній радіоактивній хмарі, $\text{Зв}\cdot\text{м}^3/(\text{год}\cdot\text{Бк})$

Нуклід	$V_{\alpha\beta}$	Нуклід	$V_{\alpha\beta}$	Нуклід	$V_{\alpha\beta}$
^{14}C	$2,16\cdot 10^{-8}$	^{99m}Te	$1,78\cdot 10^{-8}$	^{137}Xe	$2,78\cdot 10^{-6}$
^{41}Ar	$7,62\cdot 10^{-7}$	^{103}Ru	$7,18\cdot 10^{-8}$	^{138}Xe	$1,10\cdot 10^{-6}$
^{51}Cr	$9,68\cdot 10^{-11}$	$^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$	$2,19\cdot 10^{-6}$	^{137}Cs	$2,87\cdot 10^{-7}$
^{54}Mn	$4,04\cdot 10^{-10}$	^{124}Sb	$6,46\cdot 10^{-7}$	^{135}Cs	$5,43\cdot 10^{-8}$
^{59}Fe	$1,77\cdot 10^{-7}$	^{125}Sb	$1,48\cdot 10^{-7}$	^{136}Cs	$1,77\cdot 10^{-7}$
^{58}Co	$5,37\cdot 10^{-10}$	^{125m}Te	$1,06\cdot 10^{-7}$	^{137}Cs	$4,16\cdot 10^{-7}$
^{60}Co	$1,36\cdot 10^{-7}$	^{127m}Te	$6,00\cdot 10^{-8}$	^{138}Cs	$1,91\cdot 10^{-6}$
^{85m}Kr	$4,41\cdot 10^{-7}$	^{127}Te	$4,03\cdot 10^{-7}$	^{140}Ba	$5,05\cdot 10^{-7}$
^{85}Kr	$3,89\cdot 10^{-7}$	^{129m}Te	$4,14\cdot 10^{-7}$	^{140}La	$9,31\cdot 10^{-9}$
^{87}Kr	$2,10\cdot 10^{-6}$	^{129}Te	$9,02\cdot 10^{-7}$	^{141}Ce	$2,83\cdot 10^{-7}$
^{88}Kr	$5,85\cdot 10^{-7}$	^{131m}Te	$2,46\cdot 10^{-7}$	^{144}Ce	$1,19\cdot 10^{-7}$
^{89}Kr	$1,93\cdot 10^{-6}$	^{132}Te	$8,68\cdot 10^{-8}$	^{144}Pr	$1,95\cdot 10^{-6}$
^{86}Rb	$1,07\cdot 10^{-6}$	^{129}I	$1,92\cdot 10^{-8}$	^{147}Pm	$6,30\cdot 10^{-8}$
^{88}Rb	$3,06\cdot 10^{-6}$	^{131}I	$3,44\cdot 10^{-7}$	^{154}Eu	$4,31\cdot 10^{-7}$
^{89}Rb	$1,44\cdot 10^{-6}$	^{132}I	$8,79\cdot 10^{-7}$	^{155}Eu	$2,60\cdot 10^{-8}$
^{89}Sr	$9,32\cdot 10^{-7}$	^{133}I	$7,19\cdot 10^{-7}$	^{239}Np	$3,87\cdot 10^{-7}$
^{90}Sr	$3,02\cdot 10^{-7}$	^{134}I	$1,05\cdot 10^{-6}$	^{238}Pu	$9,81\cdot 10^{-11}$
^{90}Y	$1,49\cdot 10^{-6}$	^{135}I	$6,93\cdot 10^{-7}$	^{239}Pu	$8,70\cdot 10^{-9}$
^{91}Y	$9,85\cdot 10^{-7}$	^{131m}Xe	$1,98\cdot 10^{-7}$	^{240}Pu	$9,81\cdot 10^{-11}$
^{95}Zr	$1,91\cdot 10^{-7}$	^{133m}Xe	$3,19\cdot 10^{-7}$	^{241}Pu	$3,69\cdot 10^{-13}$
^{95}Nb	$2,62\cdot 10^{-8}$	^{133}Xe	$1,62\cdot 10^{-7}$	^{242}Pu	$7,56\cdot 10^{-10}$
^{90}Mo	$6,73\cdot 10^{-7}$	^{135m}Xe	$1,80\cdot 10^{-7}$	^{241}Am	$3,17\cdot 10^{-10}$
^{99}Tc	$1,14\cdot 10^{-7}$	^{135}Xe	$5,99\cdot 10^{-7}$	^{242}Cm	$1,01\cdot 10^{-14}$

Джерело – забруднення поверхня шкіри

Значення перехідного дозового коефіцієнта V_{β} , $Зв \cdot см^2 / (рік \cdot Бк)$, залежно від товщини шару епідермісу наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Дозовий коефіцієнт зовнішнього опромінення базального шару шкіри β - частинками і електронами конверсії при рівномірному забрудненні шкіри радіоактивними речовинами, V_{β} , $Зв \cdot см^2 / (рік \cdot Бк)$

Найменування нуклідів	Товщина епідермісу Δx , мг/см ²			Найменування нуклідів	Товщина епідермісу Δx , мг/см ²		
	7	4	40		7	4	40
¹⁴ C	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$	0,0	¹³⁵ I	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$
³² P	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	¹³⁴ Cs	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$
⁶⁰ Co	$9,9 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	¹³⁷ Cs	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
⁶⁵ Zn	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	^{137m} Ba	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
⁹⁰ Sr	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	¹⁴⁰ Ba	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
⁹⁰ Y	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	¹⁴⁰ La	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$
⁹⁵ Zr	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	¹⁴⁴ Ce	$8,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
⁹⁵ Nb	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	¹⁴⁴ Pr	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
¹⁰⁶ Rh	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	²⁰³ Hg	$9,6 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$
¹³¹ Te	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	²¹⁰ Bi	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$
¹³² Te	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	²¹⁴ Bi	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$9,6 \cdot 10^{-3}$
¹²⁹ I	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	0,0	²³⁵ U	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$
¹³¹ I	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	²³⁷ Np	$6,8 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	0,0
¹³² I	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$	²³⁸ Np	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
¹³³ I	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$7,6 \cdot 10^{-3}$	²³⁹ Np	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$

Доза внутрішнього опромінення, обумовлена вдиханням радіоактивних газів

Річні ефективні дози внутрішнього опромінення за рахунок вдихання повітря, забрудненого радіоактивними речовинами розраховуються за формулою

$$\dot{H} = QGVV \quad (2.12)$$

У цій формулі \dot{H} – річна ефективна доза, Зв, Q – викид, Бк/рік. G – середньорічний коефіцієнт метеорологічного розбавлення, $\text{с}/\text{м}^3$, V – швидкість вдихання, $\text{м}^3/\text{с}$. Перехідний дозовий коефіцієнт V , Зв/Бк, характеризує очікувану ефективну дозу при надходженні в організм інгаляційним шляхом нукліда активністю 1 Бк.

2.3.5.3 Розрахунок колективних доз

Оцінка колективної дози необхідна при виборі місця будівництва радіаційно-небезпечних підприємств, порівняння ефективності різних заходів щодо захисту населення, розрахунку радіаційного ризику від окремих ланок ядерно-паливного циклу, виборі типу радіаційної технології тощо Колективна доза S , люд.·Зв, визначається формулою:

$$S = \sum_j N_j H_j ; \quad (2.13)$$

де N_j – число осіб, які отримали індивідуальну дозу H_j .

2.4 Тестування PC CREAM

На рис. 2.3 наведена середньорічна розрахункова ізолінія об'ємної активності радіонукліда ^{137}Cs при викидах з РАЕС при нормальних умовах експлуатації. На цьому ж рисунку наведена пунктиром багаторічна роза вітрів, обмірювана на РАЕС. Роза вітрів обмірювана для 16 напрямків, і на рис. 2.3 зазначені величини у відсотках. У напрямку на північний схід вітер спрямований близько 8,5% часу в році. Зрозуміло, що якщо роза вітрів

втягнута до сходу (вітер спрямований переважно на схід), те й середньорічна ізолінія об'ємних концентрацій радіонукліду, який надійшов з РАЕС, так само витягнута в східному напрямку. Але необхідно враховувати, що крім напрямку вітру на форму ізолінії впливає й розподіл швидкостей у даному напрямку. Тому важко очікувати точної відповідності форми рози вітрів і ізолінії середньорічної об'ємної активності, хоча приблизно форми цих кривих повинні збігатися.

Як видно з наведених на рис. 2.3 даних спостерігається гарний збіг за формою середньорічної об'ємної активності й рози вітрів. Роза вітрів витягнута в східному напрямку й ізолінія також витягнута в цьому напрямку. У західному напрямку величина рози вітрів мінімальна (вітри спрямовані у цьому напрямку малу кількість часу в році), і ізолінія середньорічної об'ємної активності від центра викидів також мінімальна.

Така хороша згода між формою ізолінії середньорічної активності й формою рози вітрів спостерігається на невеликих відстанях. На відстанях 100 і боле км ізолінія стає приблизно круговою – вона згладжується.

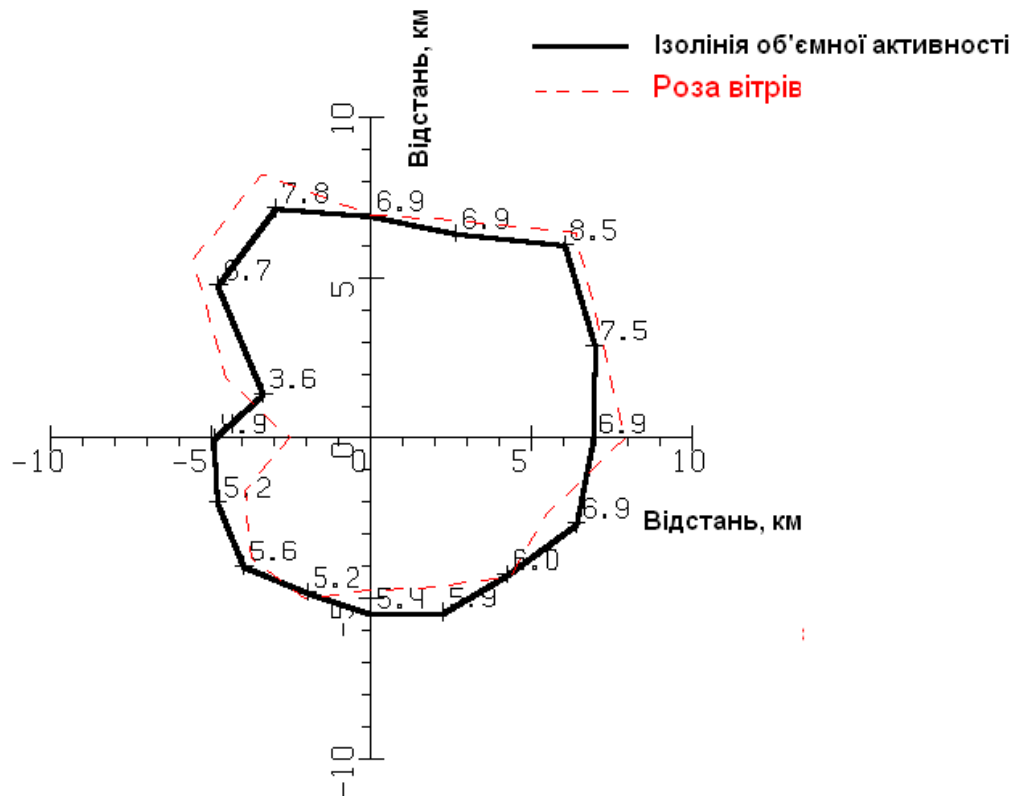


Рисунок 2.3 – Розрахункова ізолінія середньорічної об'ємної активності при нормальних умовах експлуатації по програмі PC CREAM для викидів з РАЕС радіонукліда Cs-137.

Пунктирна крива – роза вітрів в районі РАЕС

Розрахункову залежність середньорічної об'ємної активності радіонукліда Cs- 137 від відстані по програмі PC CREAM ми порівнювали з аналогічною залежністю, розрахованої по програмі CAP 88 (Агентство по захисту навколишнього середовища США, версія 4.0.1.17 від 2019 р.). Результати порівняння показані на рис. 2.4.

Використано кругову розу вітрів. Розрахунки проводилися для 4- х напрямків від джерела викидів: північ (N), схід (E), південь (S) і захід (W). Для кругової рози вітрів розрахунки для всіх напрямків збігаються.

Як слідує з наведених даних, розрахунки, виконані по двох різних програмах, дуже добре збігаються.

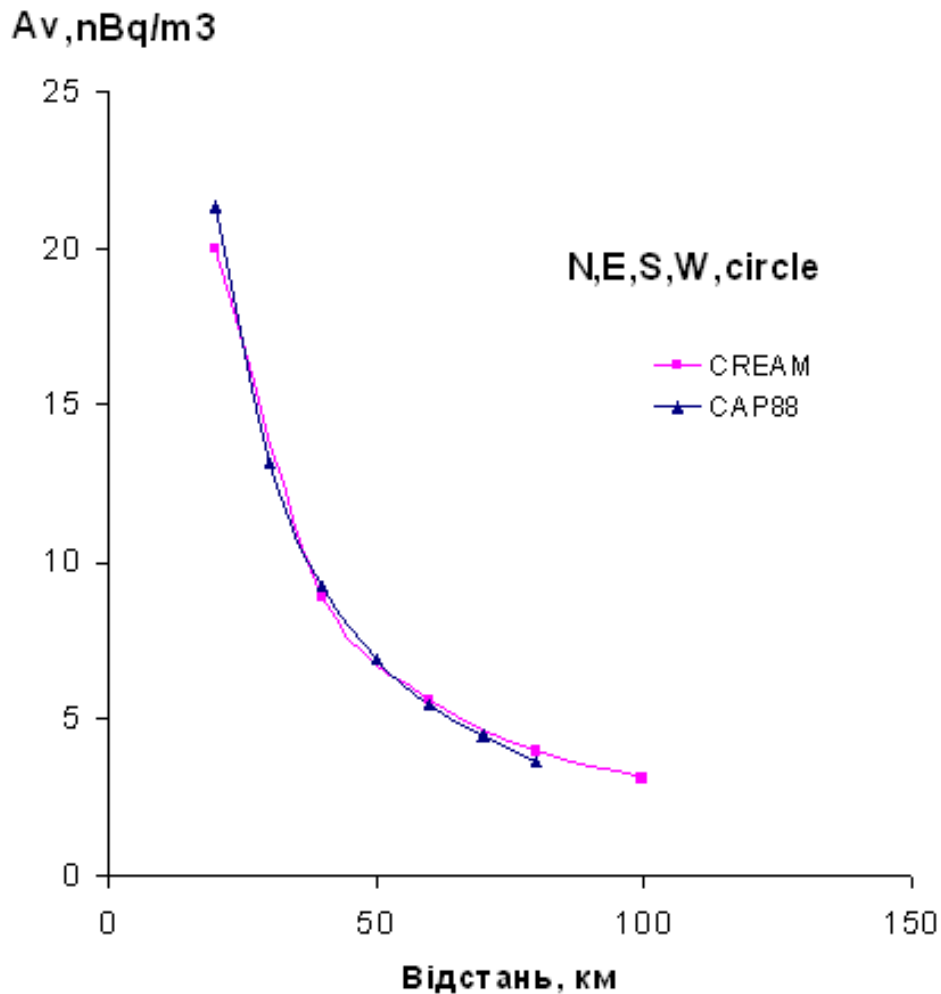


Рисунок 2.4 – Залежності, які розраховані по двох програмах: PC CREAM и CAP 88; - середньорічної об'ємної активності радіонукліда Cs-137 от відстані до РАЕС при нормальних умовах експлуатації

Гарний збіг розрахункових даних, виконаних по різних програмах, підтверджує правильність використання нами програми PC CREAM. Відзначимо, що моделювання по програмі PC CREAM поширюється на відстань до 1000 км, див. п.3.2.1 [116], а моделювання по програмі CAP 88 поширюється до відстані 80 км. Тому ми проводили порівняння в області застосовності обох програм (20-80 км), див. рис. 2.4.

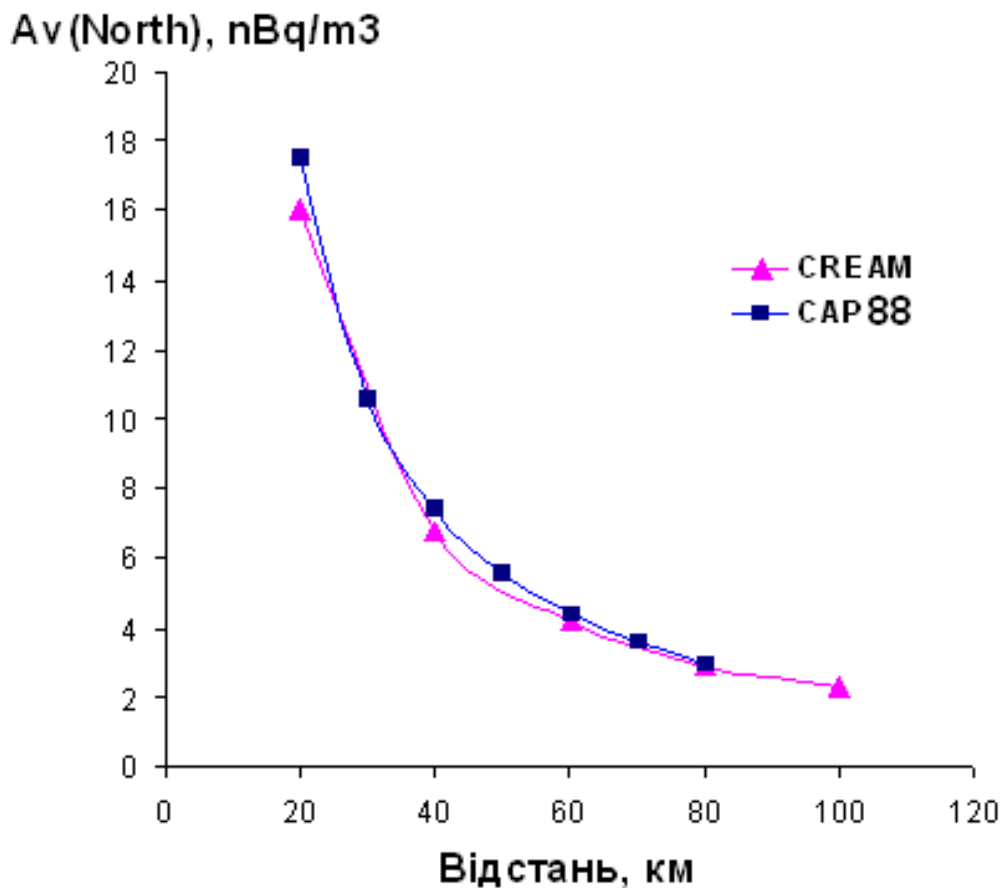


Рисунок 2.5 – Залежності середньорічної об'ємної активності радіонукліда Cs-137 от відстані до РАЕС при нормальних умовах експлуатації, які розраховані за двома програмами PC CREAM та CAP 88 у напрямку до півночі

У програмі PC CREAM використовується стандартний розподіл швидкостей вітру для будь-якого заданого напрямку. Цей розподіл міняти не можна. Для більших відстаней цей розподіл приблизно справедливий, адже для таких відстаней неможливо знати який-небудь більший точний розподіл.

Програма CAP 88 застосовна до відстаней 80 км, вона вимагає уведення більше повних метеоданих, які вимірюються на АЕС, і тому ця програма в порівнянні з PC CREAM більше точна у своїй області застосовності. Зокрема, CAP 88 вимагає уведення розподілу швидкостей по величині для кожного румба, тому розрахунки, виконані по даній програмі,

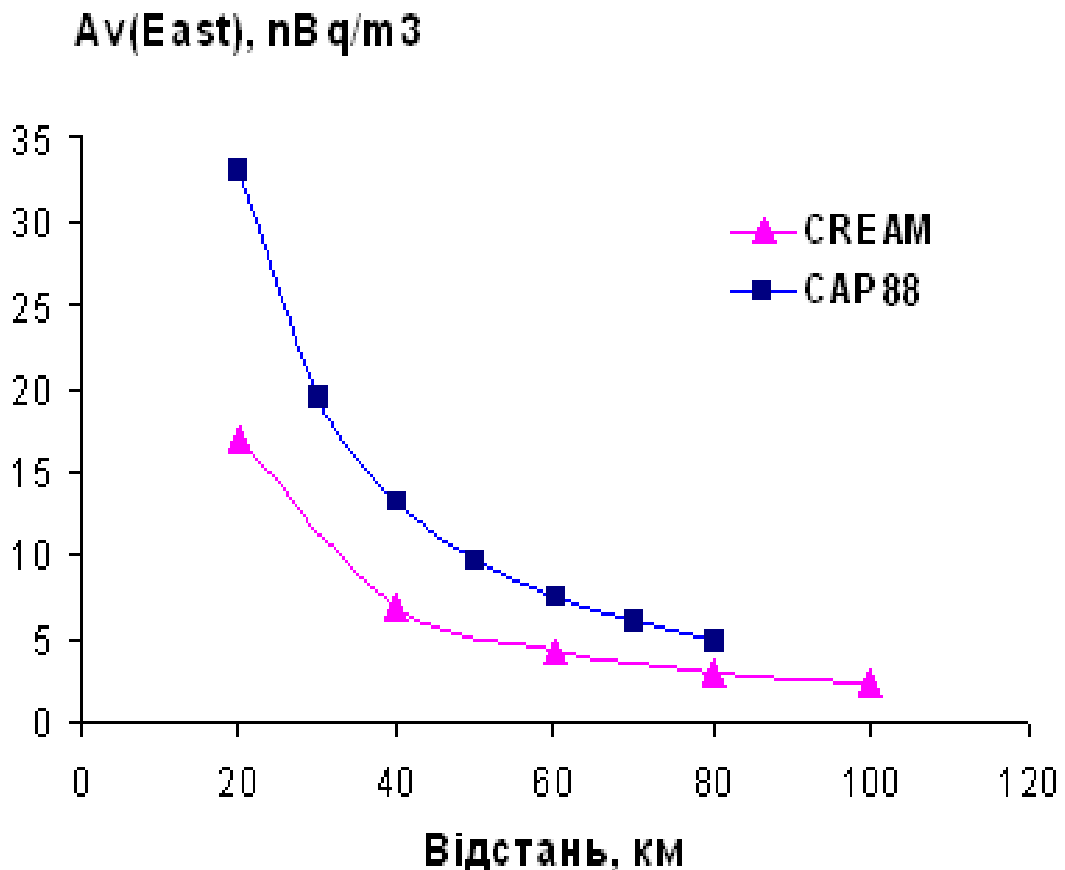


Рисунок 2.6 – Залежності середньорічної об'ємної активності радіонукліда Cs-137 от відстані до РАЕС при нормальних умовах експлуатації, які розраховані за двома програмами PC CREAM та CAP 88 у напрямку до сходу

небагато відрізняються від розрахунків, виконаних по програмі PC CREAM. Для порівняння на рис. 2.5 наведені дані розрахунків об'ємних активностей радіонукліда Cs- 137 для різних відстаней від РАЕС. Як слідує з порівняння розрахунків, отриманих по різних програмах для напрямку на північ, у даному напрямку отримана гарна згода.

Якщо провести порівняння даних розрахунків для напрямку на схід, див. рис. 2.6, то в цьому напрямку розрахунки, виконані по програмі CAP 88 дають більші значення для об'ємної активності, чим розрахунки по програмі PC CREAM.

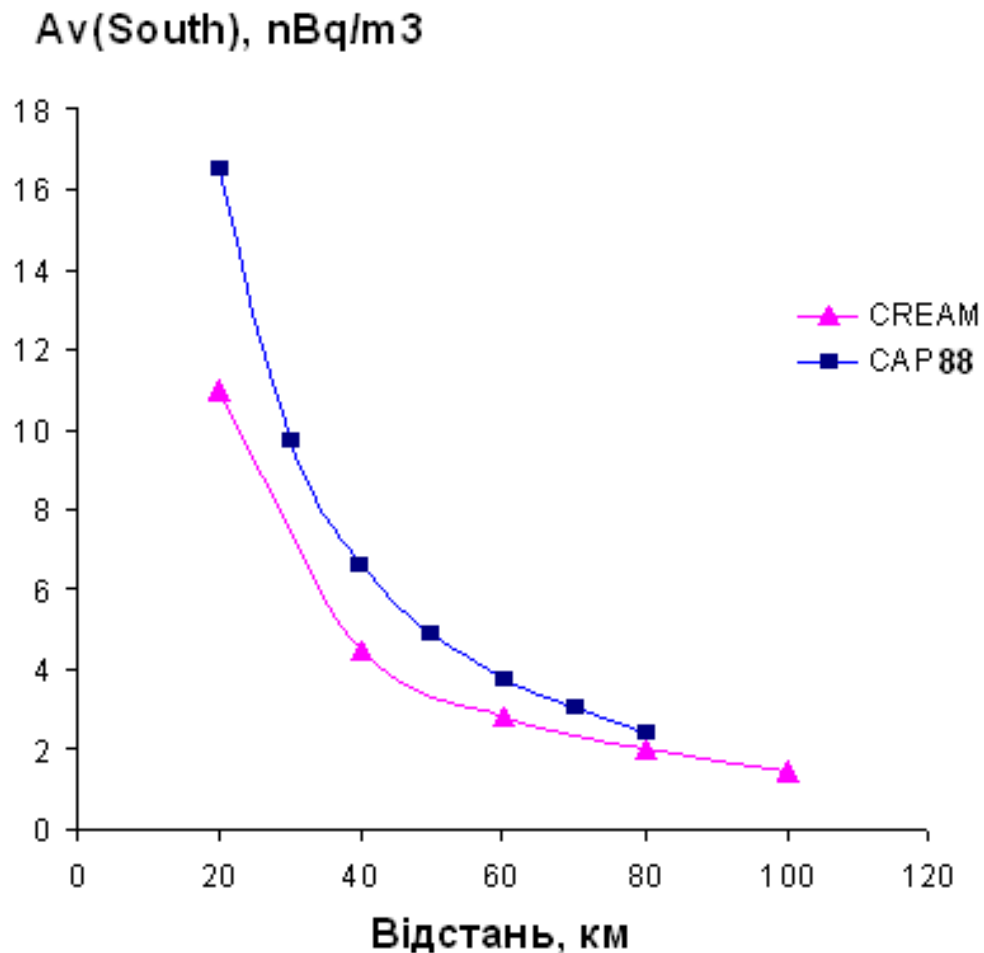


Рисунок 2.7 – Залежності середньорічної об'ємної активності радіонукліда Cs-137 от відстані до РАЕС при нормальних умовах експлуатації, які розраховані за двома програмами PC CREAM та CAP 88 у напрямку до півдня

Розрахунки, виконані для напрямку на південь по програмі CAP 88, також дають більші значення об'ємних активностей, чим аналогічні розрахунки, виконані по програмі PC CREAM, див. дані, наведені на рис. 2.7.

У той же час розрахунки, виконані в напрямок на захід по програмі CAP 88 дають менші значення для об'ємної активності, чим розрахунки по програмі PC CREAM, див. дані, наведені на рис. 2.8.

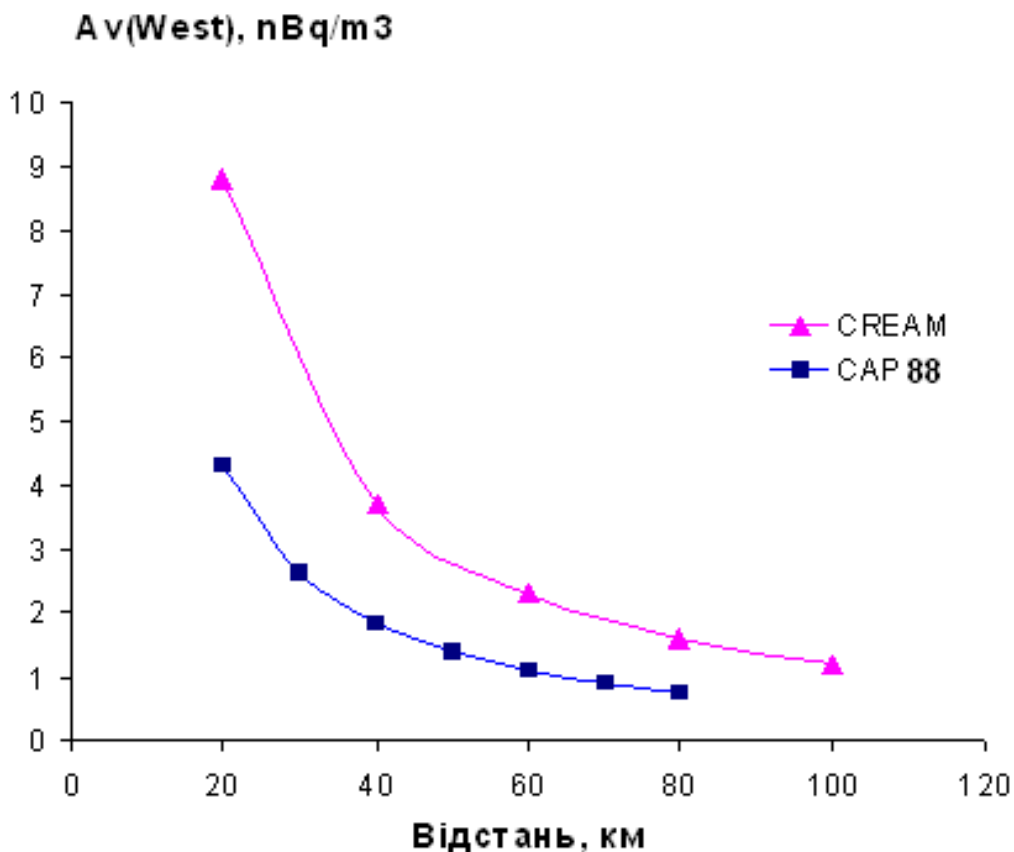


Рисунок 2.8 – Залежності середньорічної об'ємної активності радіонукліда Cs-137 от відстані до РАЕС при нормальних умовах експлуатації, які розраховані за двома програмами PC CREAM и CAP 88 у напрямку до заходу

Таким чином, розрахунки, виконані по програмі PC CREAM, небагато занижують значення об'ємних активностей у напрямку на схід і південь, завищують у напрямку на захід і дають співпадаючі значення в напрямку на північ. Якщо задати кругову розу вітрів і однаковий розподіл швидкостей, то обчислені значення усереднюються й спостерігається гарний збіг, як це показано на рис. 2.5.

Таким чином, проведені тестові обчислення по програмі PC CREAM показали правильність виконаних по ній розрахунків.

3 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ВП «РІВНЕНСЬКА АЕС»

3.1 Стислий опис початкових умов, що використовуються для оцінки впливу на навколишнє природне середовище та населення викидів радіоактивних речовин в атмосферне повітря

Для моделювання розповсюдження радіоактивних речовин в атмосфері та формування доз, обумовлених викидами радіонуклідів з АЕС в умовах нормальної експлуатації, використовується програмний комплекс PC CREAM [116, 119], розроблений в National Radiological Protection Board (Національний комітет з радіаційного захисту, Англія). Використана система класифікації категорій стабільності атмосфери Паскуїлла, тому були розроблені та підготовлені для використання в моделі метеофайли на базі існуючих даних про метеорологічні умови [120–124].

Застосовані у розрахунках показники викидів радіоактивних речовин за нормальних умов експлуатації наведені у табл. 3.1 Наведені величини розраховані на базі фактичних даних про викиди інертних радіоактивних газів (ІРГ), ізотопів йоду (йод), радіоактивних аерозолів (ДЖН) ВП «Рівненська АЕС» (табл. 3.2). У розрахунках враховані також викиди з АЕС радіоактивного вуглецю, викиди якого не контролюються прямими вимірюваннями. Ізотопний склад ІРГ, йоду та ДЖН розрахований відповідно до існуючих джерел [125, 126], якщо ізотопи не вимірюються прямими вимірюваннями на АЕС.

Таблиця 3.1 – Викиди радіоактивних речовин з РАЕС, які використовуються для розрахунків

Радіонуклід	Викиди з РАЕС, Бк/рік
Cs-137	6,28E+06
Cs-134	9,66E+05

Продовження таблиці 3.1

Радіонуклід	Викиди з РАЕС, Бк/рік
Co-60	7,27E+06
Co-58	1,09E+06
Mn-54	1,22E+06
Cr-51	4,56E+06
Sr-90	2,60E+05
Zr-95	5,80E+05
Nb-95	2,23E+06
H-3	1,01E+12
C-14*	1,99E+11
Kr-87**	2,35E+12
Xe-133**	1,69E+13
Xe-135**	4,23E+12
I-131***	9,43E+07
I-133***	5,04E+07
I-135***	1,31E+07

* – розраховані величини на основі літературних джерел [125, 1261];

** – викиди цих радіонуклідів розраховані на основі табл. 3.2 [126] і фактичних викидів ІРГ (табл. 3.3–3.4);

*** – розраховані величини на основі табл.3.2 [127] і фактичних викидів йоду-131 (табл. 3.3–3.4).

Таблиця 3.2 – Склад ІРГ та йоду

Радіонуклід	Відносний вміст у суміші ІРГ, k_n	Радіонуклід	Відносний вміст у суміші йоду, k_i
^{88}Kr	0,10	^{131}I	0,60
^{133}Xe	0,72	^{133}I	0,32
^{135}Xe	0,18	^{135}I	0,08

Таблиця 3.3 – Річні значення газо-аерозольних викидів радіонуклідів до атмосфери об'єктами ВП «РАЕС»

Радіаційний параметр	Рік	ВТ блоків №1,2	ВТ-1 блоку №3	ВТ-2 блоку №3	ВТ-1 блоку №4	ВТ-2 блоку №4	ВТ СК блоків №3, 4	ВП «РАЕС»
ІРГ, ГБк/рік	2013	2,92E+04	7,96E+03	1,10E+03	4,36E+03	1,07E+02	4,72E+03	4,75E+04
	2014	2,71E+04	8,05E+03	7,97E+02	9,22E+03	3,23E+02	4,24E+03	4,97E+04
	2015	1,78E+04	8,38E+03	7,90E+02	8,77E+03	6,32E+02	4,23E+03	4,06E+04
	2016	2,02E+04	5,71E+03	1,44E+03	4,72E+03	1,70E+02	9,48E+02	3,32E+04
	2017							3,52E+04
ДЖН, МБк/рік	2013	1,20E-01	1,88E-02	9,39E-04	1,11E-02	6,10E-04	4,43E-02	1,96E-01
	2014	1,01E-01	1,64E-02	1,03E-03	1,11E-02	4,85E-04	4,02E-02	1,70E-01
	2015	1,22E-01	1,40E-02	6,13E-04	9,36E-03	5,50E-04	3,63E-02	1,83E-01
	2016	8,44E-02	1,18E-02	4,02E-03	7,28E-03	1,77E-04	2,93E-02	1,37E-01
	2017							9,97E-02
Йод, МБк/рік	2013	6,11E-02	5,12E-03	7,19E-03	2,59E-03	1,83E-04	8,79E-03	8,51E-02
	2014	2,48E-01	2,22E-03	2,55E-04	4,22E-03	2,03E-04	6,90E-03	2,62E-01
	2015	2,21E-01	2,49E-03	2,75E-04	1,55E-02	1,88E-03	8,54E-03	2,50E-01
	2016	7,14E-02	1,30E-03	4,08E-04	1,59E-03	1,01E-04	4,18E-03	7,90E-02
	2017							4,14E-02

Таблиця 3.4 – Газо-аерозольні викиди радіоактивних речовин у вентиляційні труби ВП «РАЕС»

Нуклід	Активність, ГБк				
	2013	2014	2015	2016	2017
ІРГ	4,75E+04	4,97E+04	4,06E+04	3,32E+04	3,52E+04
Йод	8,50E-02	2,62E-01	2,50E-01	7,90E-02	4,14E-02
Cr-51	1,19E-02	4,76E-03	1,49E-02	5,11E-03	1,86E-03
Mn-54	1,68E-03	1,40E-03	3,79E-03	1,17E-03	8,65E-04
Co-58	2,03E-03	1,08E-03	3,39E-03	1,24E-03	6,86E-04
Fe-59	1,02E-03	6,39E-04	9,67E-04	3,40E-04	2,23E-04
Co-60	1,43E-02	1,14E-02	2,06E-02	8,38E-03	5,29E-03
Nb-95	4,78E-03	3,75E-03	6,81E-03	2,11E-03	1,57E-03

Продовження таблиці 3.4

Нуклід	Активність, ГБк				
	2013	2014	2015	2016	2017
Zr-95	4,41E-03	1,30E-03	1,70E-03	6,81E-04	4,13E-04
Ag-110m	1,62E-02	4,24E-03	8,95E-03	8,05E-03	5,04E-03
Cs-134	2,62E-03	7,64E-04	2,48E-03	1,11E-03	1,04E-03
Cs-137	1,30E-02	7,71E-03	1,67E-02	7,59E-03	5,70E-03
Sr-90	4,13E-04	6,03E-04	4,88E-04	3,71E-04	3,77E-04
H-3	1,33E+03	1,15E+03	1,60E+03	1,66E+03	1,63E+03

Застосовані у розрахунках значення нормативів споживання харчових продуктів наведені у табл. 3.5 [128].

Таблиця 3.5 – Значення річного споживання продуктів харчування людиною (кг·рік⁻¹)

Продукт	Референтний вік				
	1 рік	5 років	10 років	15 років	«Дорослий»
Ярова пшениця, зерно	0,3	0,5	0,7	0,7	0,9
Ярова пшениця, борошно	1,4	3,0	3,7	4,4	5,5
Озима пшениця, зерно	2,2	4,7	5,8	6,6	8,4
Озима пшениця, борошно	12,8	26,6	33,2	36,5	47,5
Жито, зерно	0,8	1,8	2,2	2,5	3,2
Жито, борошно	3,4	6,9	8,8	10,2	12,8
Овес	1,1	1,1	1,4	1,6	2,0
Картопля	16,4	12,8	21,9	30,3	58,4
Листові овочі	10	13	14	15	18
Овочі-коренеплоди	7,7	8,8	10,6	12,0	12,0
Плодові овочі	4,4	13,1	15,0	16,8	17,2
Фрукти	54,8	26,3	33,2	36,5	43,8
Ягоди	0	3,7	4,4	5,1	5,1
Молоко	204,4	51,1	65,7	76,7	84,0
Згущене молоко	0	4,0	5,1	5,8	6,6
Вершки	0	3,5	4,7	5,1	5,8
Масло	0	2,2	3,5	4,4	6,6

Продовження таблиці 3.5

Продукт	Референтний вік				
	1 рік	5 років	10 років	15 років	«Дорослий»
Сир (твердий)	0	3,7	5,1	6,9	9,5
Сир (м'який)	0	2,4	3,2	4,4	6,2
Яловичина	0,5	6,6	6,9	8,4	9,9
Свинина	1,4	26,3	28,5	32,9	39,4
М'ясо птиці	0,5	4,0	4,4	5,1	6,2
Яйця	1,8	6,6	9,1	13,1	15,7

За даними метеорологічних спостережень на ВП «РАЕС» у 2013–2017 рр. для проведення розрахунків створені спеціальні метеофайли, які враховують розподіл за напрямками категорій стабільності атмосфери та відповідної швидкості вітру.

Для моделювання розповсюдження радіоактивних речовин у атмосферному повітрі і формування доз опромінення, обумовлених викидами за умов аварійних ситуацій, використовувався програмний комплекс PC COSYMA, розроблений у National Radiological Protection Board (національний комітет з радіаційного захисту, Англія).

В цій роботі використані детерміністичні оцінки для однієї найбільш несприятливої категорії погоди (критичний підхід).

Консервативно приймається наступне співвідношення хімічних форм ізотопів йоду:

- 91 % викинутого йоду знаходиться в молекулярній (елементної) формі;
- 5% викидається в аерозольній формі;
- 4% викидається в органічній формі.

Вибір метеорологічних умов для аварійної ситуації зроблений на основі розрахунків доз опромінення населення, тобто обрані найбільш несприятливі метеоумови при яких дози максимальні (консервативний

підхід) [128]. При розрахунках максимальних очікуваних доз опромінення населення у транскордонному контексті використовуються метеорологічні умови категорії стабільності атмосфери F, без опадів і швидкість вітру 0,5 м/с.

В цій роботі розглянуті дві найбільші проектні аварії, у яких викиди радіоактивних речовин розраховані за методикою [129]:

- максимальна проектна аварія (МПА);
- відрив кришки колектору парогенератора – аварійний спайк (АС).

3.2 Об'ємні активності радіонуклідів у приземному шарі повітря та випадіння на поверхню ґрунту за умов безаварійного режиму експлуатації

На рис. 3.1–3.3 наведені результати розрахунків активності радіонуклідів в приземному шарі повітря від відстані, а на рис. 3.4–3.6 – результати розрахунків щільності випадінь на поверхню ґрунту. Відстань відраховується за довжиною кордону від точки 1 до точки 12 (див. мапу рис. 3.7).

Як видно з наведених рисунків середньорічні максимальні значення об'ємної активності у атмосферному повітрі на кордоні України (з Республікою Білорусь) очікуються для ^{133}Xe – до 3,7 мБк/м³ і ^{135}Xe – до 0,7 мБк/м³.

Максимальні значення випадінь на поверхню ґрунту на кордоні України (з Республікою Білорусь) очікуються для тритію – до 5,9 кБк/(м²*рік) і ^{14}C – до 0,79 кБк/(м²*рік).

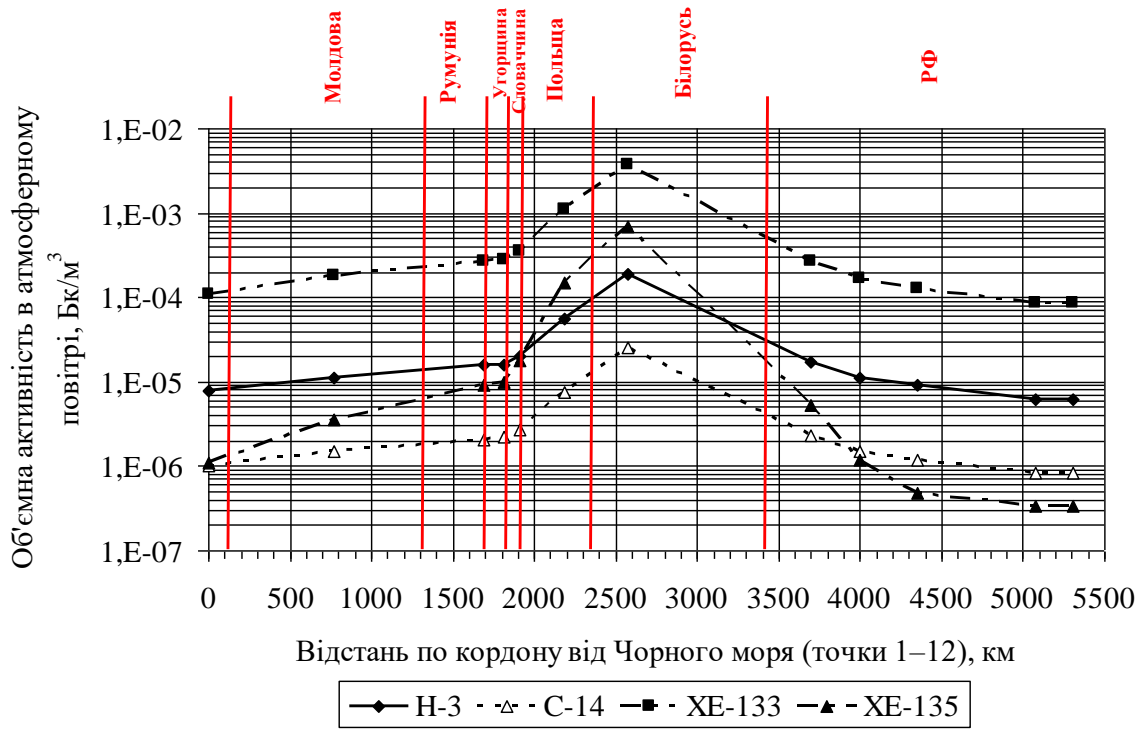
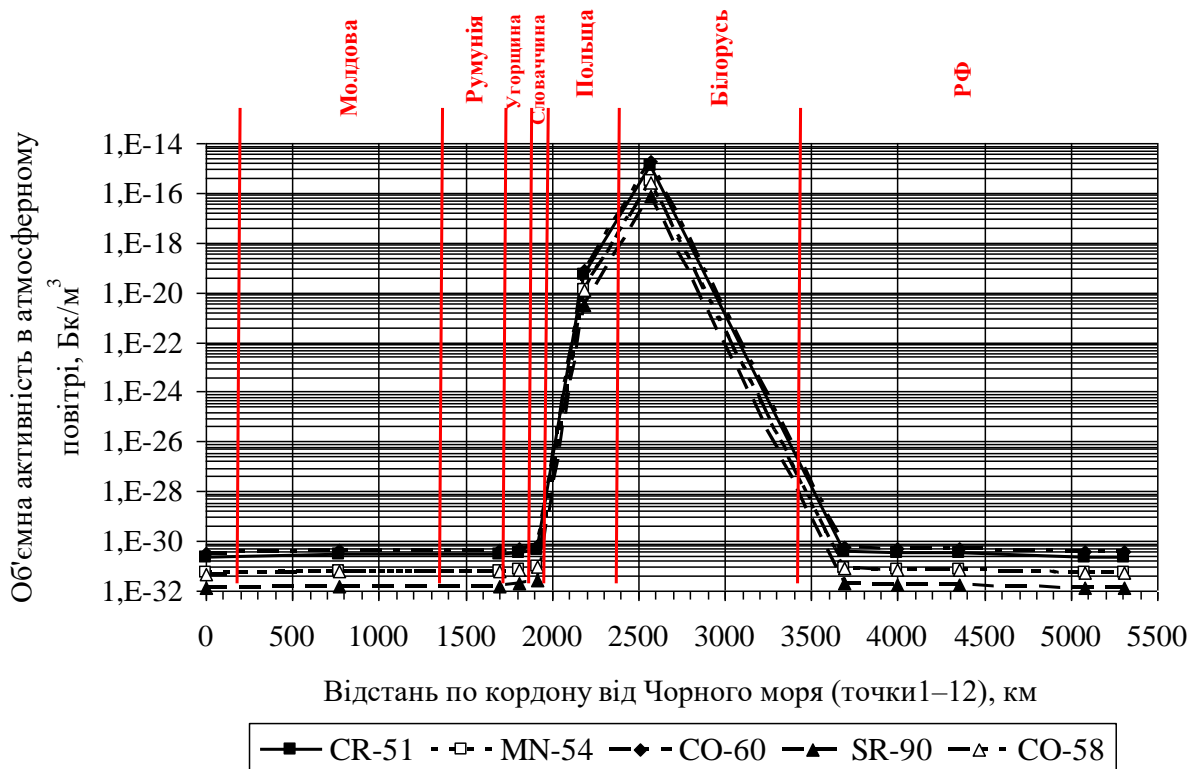


Рисунок 3.1 – Залежність очікуваної об'ємної активності ІРГ, тритію та вуглецю в приземному шарі повітря від відстані



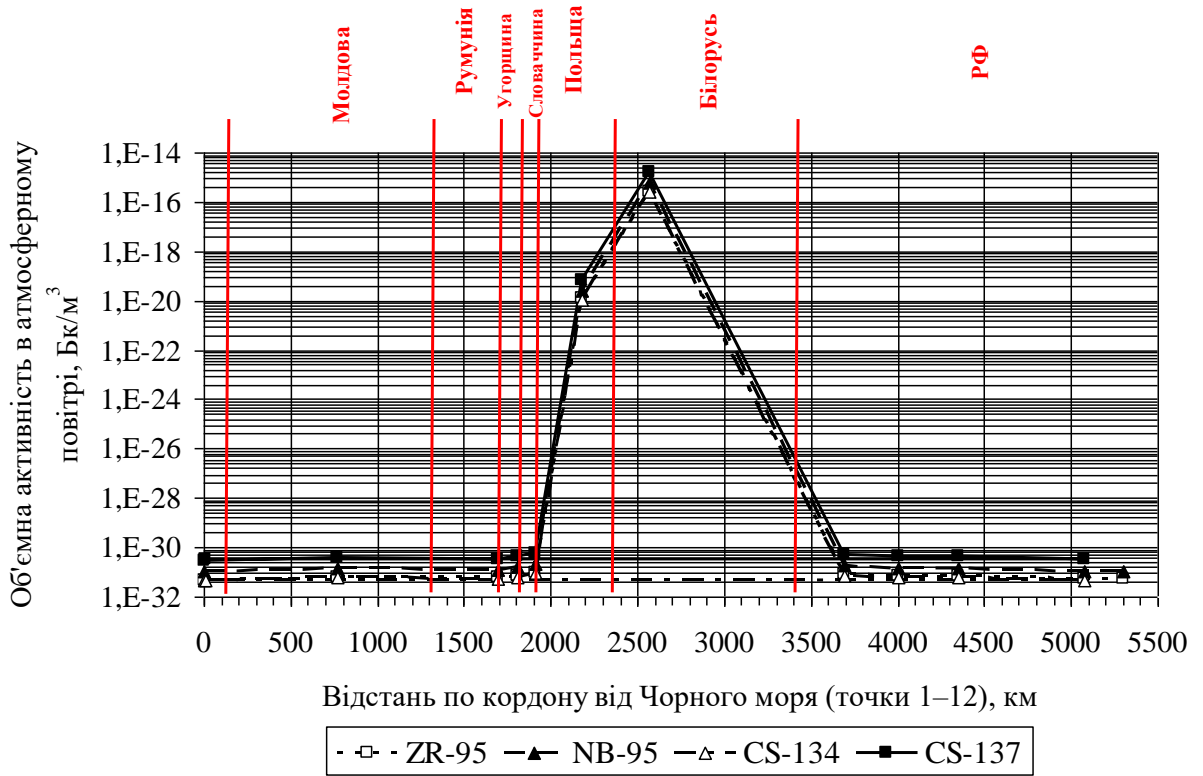


Рисунок 3.2 – Залежність очікуваної об’ємної активності ДЖН в приземному шарі повітря від відстані

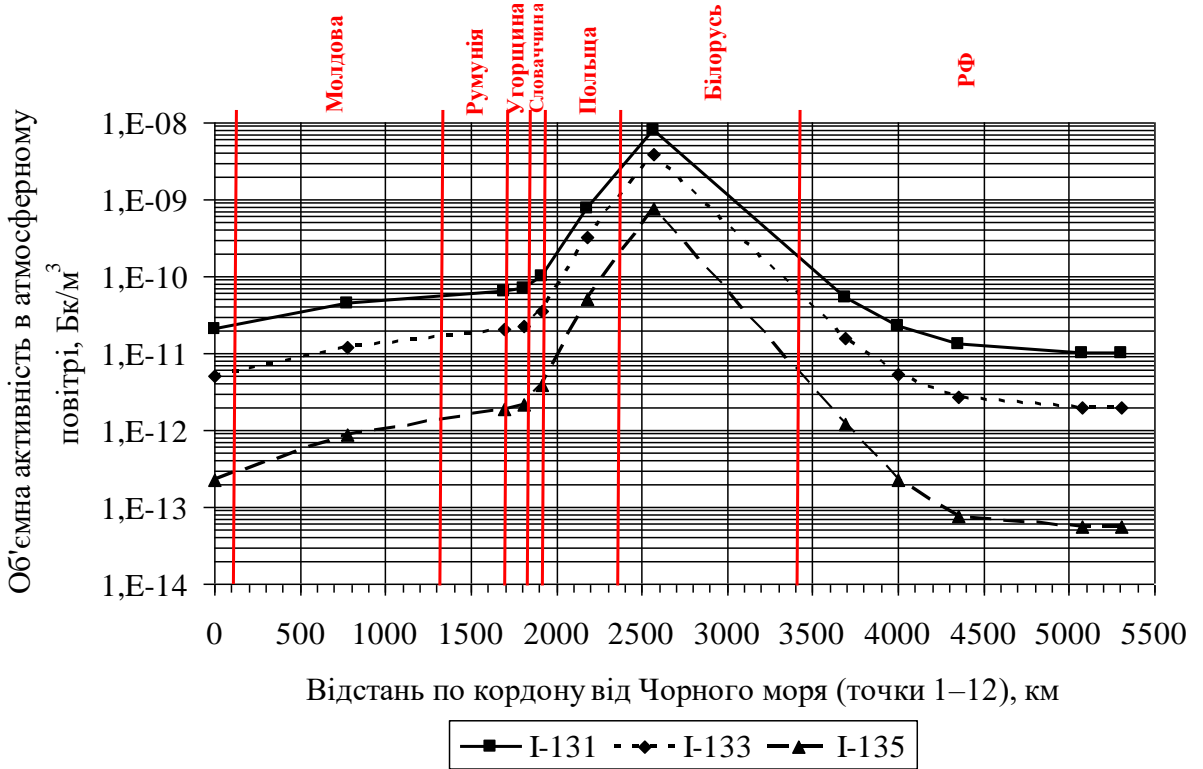


Рисунок 3.3 – Залежність очікуваної об’ємної активності ізотопів йоду в приземному шарі повітря від відстані

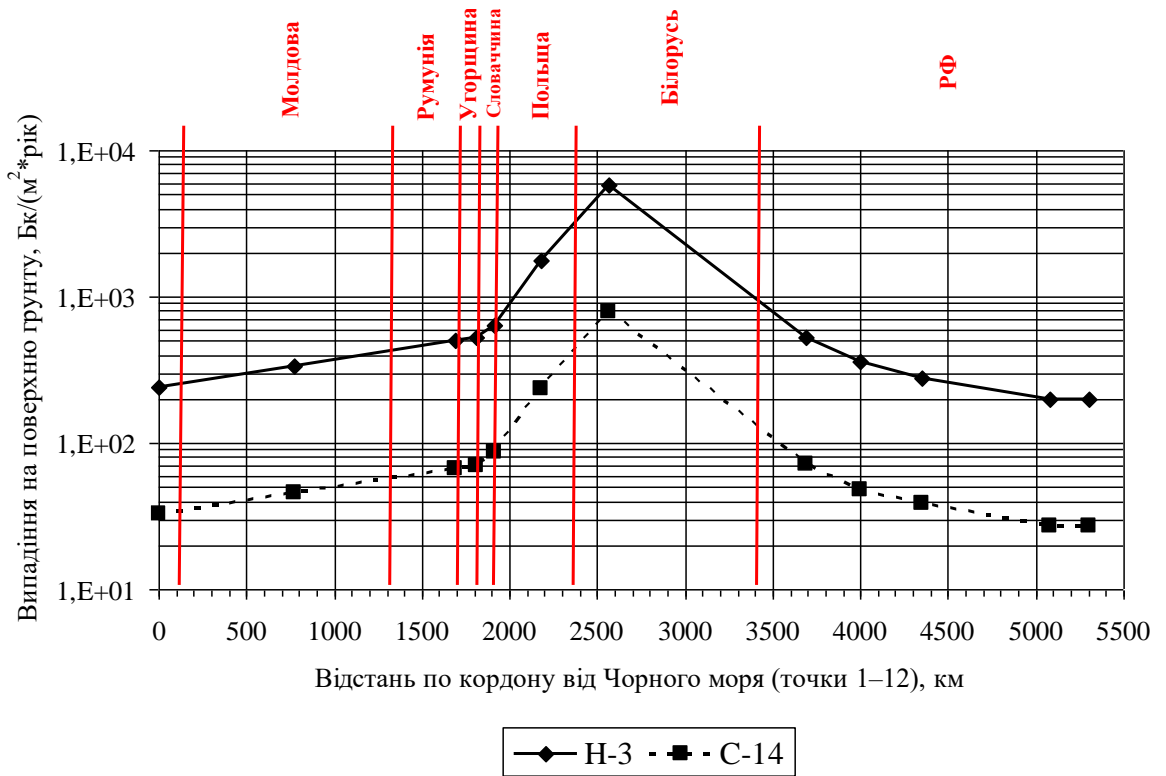
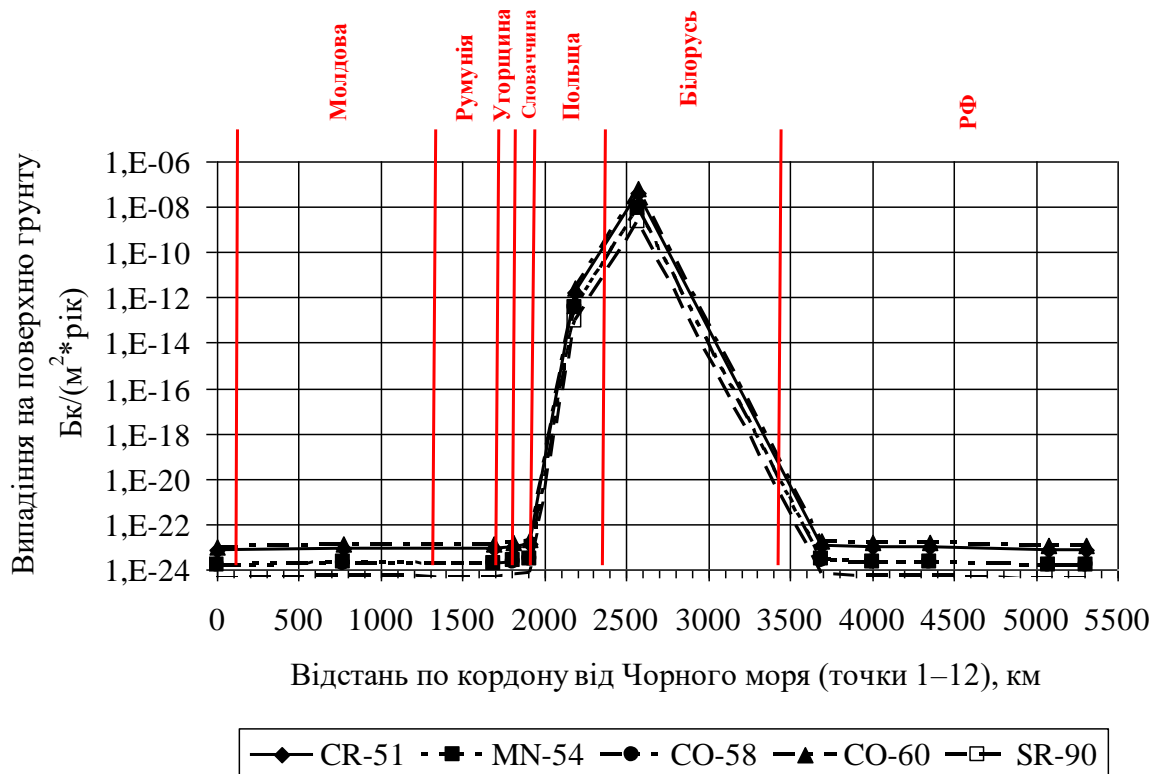


Рисунок 3.4 – Залежність очікуваних випадінь тритію та вуглецю на поверхню ґрунту від відстані



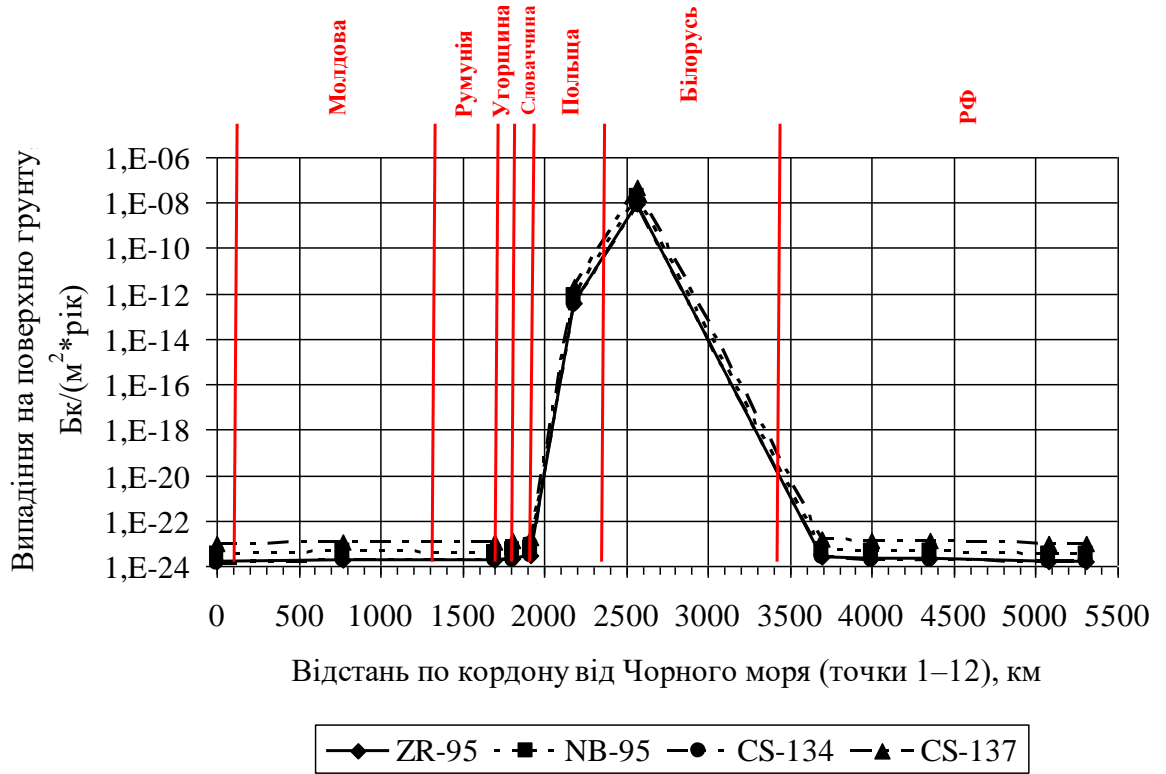


Рисунок 3.5 – Залежність очікуваних випадінь ДЖН на поверхню ґрунту від відстані

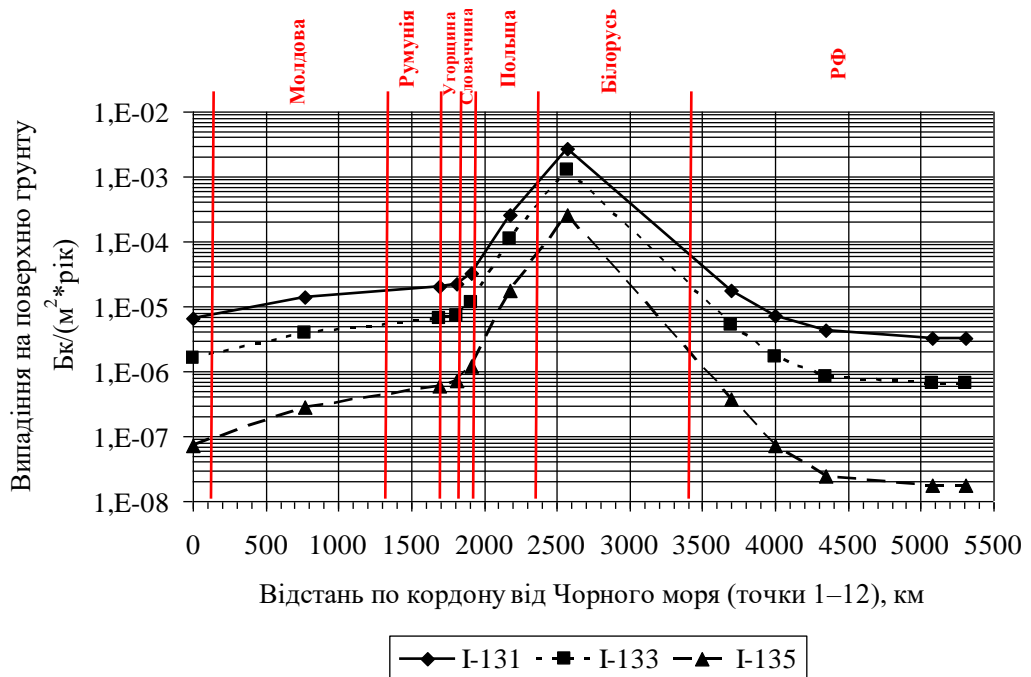


Рисунок 3.6 – Залежність очікуваних випадінь ізотопів йоду на поверхню ґрунту від відстані

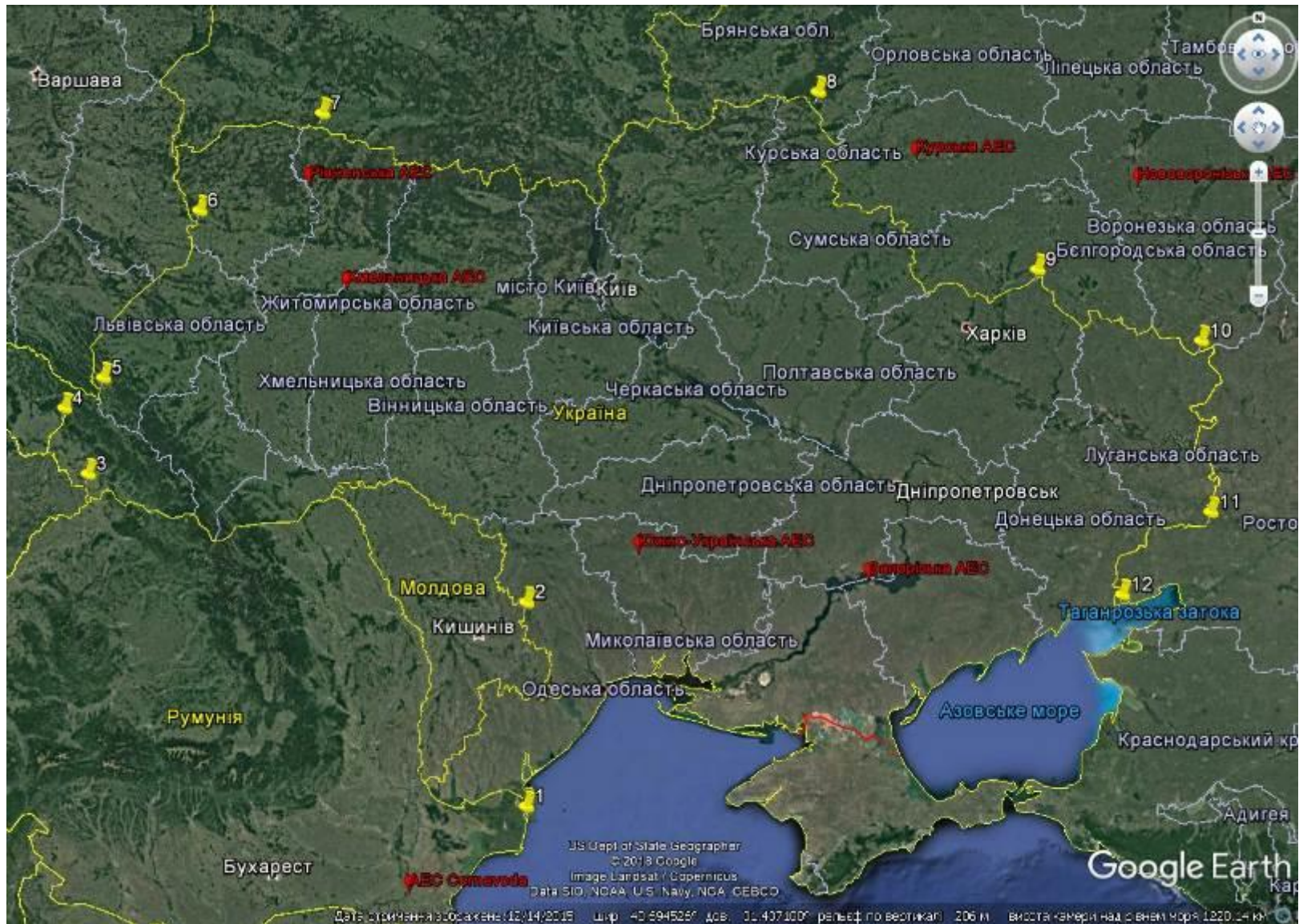


Рисунок 3.7 – Точки розрахунків на кордонах суміжних країн

3.3 Дози опромінення населення за умов нормального режиму експлуатації

На рис. 3.8 наведені результати розрахунків максимальних очікуваних доз опромінення населення від відстані. Результати наведені для трьох вікових груп: діти до 1 року, діти до 10 років і дорослі.

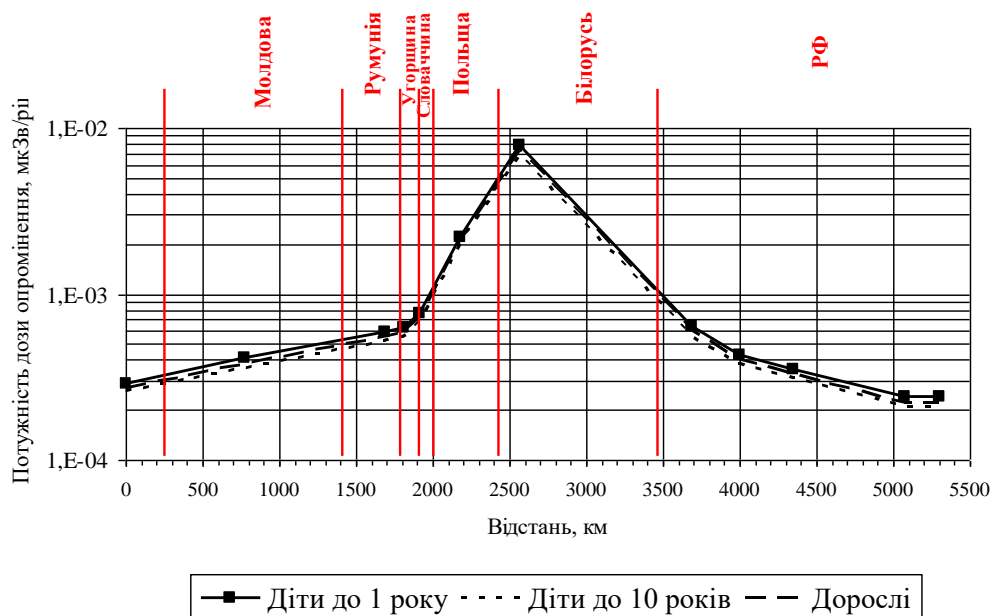


Рисунок 3.8 – Залежність очікуваних доз опромінення населення від відстані

Як бачимо з наведеного рис.3.8 квота ліміту дози 40 мкЗв/рік згідно НРБУ-97 для викидів з ВП «РАЕС» не перевищується. Максимальні дози на кордоні з найближчою країною – Республікою Білорусь, відстань до якої складає 60 км, не перевищують 0,008 мкЗв/рік.

Доза формується в основному за рахунок споживання харчових продуктів (83–93%). Загалом доза на 88–99% обумовлена внутрішніми шляхами опромінення. Доза формується в основному за рахунок вуглецю (55–85%), також помітний внесок у дозу від ІРГ, тритію, кобальту-60, ізотопів цезію, йоду-131 і стронцію.

3.4 Вплив викидів радіонуклідів на НПС і населення за умов виникнення максимальної проектної аварії (МПА)

3.4.1 Вхідні дані для розрахунку дозових навантажень за умов МПА

Результативні значення сумарного радіоактивного викиду в навколишнє природне середовище наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Викид радіоактивних речовин за умов МПА

Радіонуклід	Викид в навколишнє середовище, Бк
Kr-88	2,00E+13
Sr-90	3,10E+11
Ru-103	4,50E+12
Ru-106	6,60E+11
I-131	4,98E+12
I-132	2,70E+12
I-133	4,00E+12
I-135	2,30E+12
Cs-134	7,80E+11
Cs-137	5,00E+11

Продовження таблиці 3.6

Радіонуклід	Викид в навколишнє середовище, Бк
La-140	8,40E+12
Ce-141	1,40E+13
Ce-144	8,60E+12

3.4.2 Результати розрахунків для МПА

У табл. 3.7 наведені результати розрахунків об'ємної активності радіонуклідів у приземному шарі атмосферного повітря і щільності випадіннь на кордоні з Республікою Білорусь для МПА.

Таблиця 3.7 – Результати розрахунків об'ємної активності радіонуклідів у приземному шарі атмосферного повітря на кордоні з Республікою Білорусь та щільності випадіннь на поверхню ґрунту для МПА

Радіонуклід	Максимальна щільність випадіннь на поверхню ґрунту, Бк/м ²
Kr-88	0,00E+00
Sr-90	6,88E+01
Ru-103	9,95E+02
Ru-106	1,47E+02
I-131	7,22E+03
I-132	1,37E+03
I-133	5,20E+03
I-135	2,32E+03
Cs-134	1,73E+02
Cs-137	1,11E+02
La-140	1,76E+03
Ce-141	3,09E+03
Ce-144	1,90E+03

Максимальні значення випадінь на поверхню ґрунту на кордоні з Республікою Білорусь очікуються для ^{131}I – до 7,22 кБк/м², ^{133}I – до 5,2 кБк/м² та ^{141}Ce – до 3,09 кБк/м².

У табл. 3.8–3.10 наведено результати розрахунків максимальних доз опромінення різних органів і тканин на кордоні з Республікою Білорусь (60 км від джерела викиду) для періодів опромінення 2 доби, 2 тижні і 1 рік.

Таблиця 3.8 – Дози опромінення органів та тканин людини при МПА за 2 доби

Нуклід	Легені, Гр	Щитовидна залоза (дорослі), Гр	Кістяний мозок, Гр	Материнський плід, Гр	Кришталік ока, Гр	Гонади, Гр	Шкіра, Гр
Kr-88	5,36E-08	4,94E-08	4,10E-08	3,94E-08	4,68E-08	3,70E-08	5,48E-08
Sr-90	1,51E-09	2,24E-10	1,95E-09	9,58E-09	3,35E-17	2,24E-10	3,88E-07
Ru-103	2,87E-07	1,74E-08	1,66E-08	9,18E-08	1,51E-08	1,62E-08	1,81E-06
Ru-106	1,22E-07	1,19E-09	1,14E-09	1,23E-07	9,50E-10	1,12E-09	1,35E-11
I-131	6,67E-08	2,28E-06	6,03E-08	5,53E-08	6,62E-08	5,73E-08	2,54E-05
I-132	7,02E-09	3,75E-08	6,13E-09	5,59E-09	6,72E-09	5,62E-09	3,70E-07
I-133	3,30E-08	1,31E-06	2,92E-08	2,70E-08	3,14E-08	2,76E-08	1,00E-05
I-135	1,86E-08	2,12E-07	1,68E-08	1,54E-08	1,83E-08	1,58E-08	1,79E-06
Cs-134	1,08E-08	1,15E-08	1,01E-08	9,91E-09	8,42E-09	9,59E-09	4,81E-07
Cs-137	3,19E-09	3,07E-09	2,73E-09	2,99E-09	1,96E-09	2,65E-09	4,12E-07
La-140	5,64E-07	9,49E-08	9,07E-08	5,14E-07	8,17E-08	8,99E-08	5,55E-06
Ce-141	1,27E-06	7,92E-09	7,63E-09	3,28E-07	6,86E-09	7,94E-09	1,12E-05
Ce-144	1,91E-06	2,45E-09	2,57E-09	1,51E-06	2,02E-09	2,54E-09	3,53E-06

Таблиця 3.9 – Дози опромінення органів та тканин людини при МПА за 2 тижні

Нуклід	Легені, Гр	Щитовидна залоза (дорослі), Гр	Кістяний мозок, Гр	Материнський плід, Гр	Кришталік ока, Гр	Гонади, Гр	Шкіра, Гр
Kr-88	5,36E-08	4,94E-08	4,10E-08	3,94E-08	4,68E-08	3,70E-08	5,48E-08
Sr-90	4,34E-09	1,45E-09	1,69E-08	3,44E-08	3,35E-16	1,45E-09	3,16E-06
Ru-103	1,33E-06	8,37E-08	7,65E-08	2,66E-07	7,29E-08	6,93E-08	1,01E-05
Ru-106	7,33E-07	6,31E-09	5,82E-09	3,29E-07	5,00E-09	5,27E-09	8,18E-11
I-131	2,71E-07	1,09E-05	2,54E-07	2,30E-07	2,82E-07	2,39E-07	1,02E-04
I-132	7,02E-09	3,75E-08	6,13E-09	5,59E-09	6,72E-09	5,62E-09	3,70E-07
I-133	4,16E-08	2,48E-06	3,73E-08	3,44E-08	4,04E-08	3,51E-08	1,24E-05
I-135	1,88E-08	2,42E-07	1,70E-08	1,56E-08	1,86E-08	1,60E-08	1,80E-06
Cs-134	5,64E-08	6,16E-08	5,46E-08	5,53E-08	4,38E-08	5,45E-08	2,93E-06
Cs-137	1,62E-08	1,71E-08	1,54E-08	1,74E-08	1,04E-08	1,55E-08	2,52E-06
La-140	1,08E-06	1,37E-07	1,35E-07	9,66E-07	1,16E-07	1,30E-07	9,49E-06
Ce-141	5,71E-06	3,81E-08	3,53E-08	8,69E-07	3,33E-08	3,22E-08	6,13E-05
Ce-144	1,09E-05	1,44E-08	1,50E-08	4,03E-06	1,22E-08	1,20E-08	2,13E-05

Таблиця 3.10 – Дози опромінення органів та тканин людини при МПА за рік

Нуклід	Легені, Гр	Щитовидна залоза (дорослі), Гр	Кістяний мозок, Гр	Материнський плід, Гр	Кришталік ока, Гр	Гонади, Гр	Шкіра, Гр
Kr-88	5,36E-08	4,94E-08	4,10E-08	3,94E-08	4,68E-08	3,70E-08	5,48E-08
Sr-90	7,04E-09	3,84E-09	3,22E-07	4,74E-08	9,73E-15	3,84E-09	1,27E-05
Ru-103	3,52E-06	3,33E-07	2,97E-07	4,68E-07	2,94E-07	2,59E-07	2,32E-05
Ru-106	7,85E-06	8,65E-08	7,72E-08	4,66E-07	7,19E-08	6,73E-08	2,78E-10
I-131	3,80E-07	1,79E-05	3,57E-07	3,24E-07	3,96E-07	3,35E-07	1,29E-04
I-132	7,02E-09	3,75E-08	6,13E-09	5,59E-09	6,72E-09	5,62E-09	3,70E-07
I-133	4,20E-08	2,49E-06	3,77E-08	3,48E-08	4,08E-08	3,55E-08	1,24E-05
I-135	1,88E-08	2,42E-07	1,70E-08	1,56E-08	1,86E-08	1,60E-08	1,80E-06
Cs-134	8,19E-07	9,05E-07	7,88E-07	7,61E-07	7,22E-07	7,80E-07	1,02E-05
Cs-137	2,47E-07	2,69E-07	2,39E-07	2,40E-07	1,95E-07	2,36E-07	9,10E-06
La-140	1,12E-06	1,38E-07	1,37E-07	9,66E-07	1,16E-07	1,30E-07	9,49E-06
Ce-141	1,37E-05	1,38E-07	1,26E-07	1,02E-06	1,23E-07	1,08E-07	1,32E-04
Ce-144	9,03E-05	2,31E-07	3,05E-07	5,09E-06	2,00E-07	1,79E-07	7,09E-05

3.4.3 Оцінки радіаційних наслідків МПА відповідно до вимог НРБУ-97

Екстрені контрзаходи

Рівні екстреного втручання, див. другий стовпець табл. 3.11, орієнтуються на величину поглиненої дози за період 2-х діб. Нормується поглинена доза на все тіло, легені, шкіру, щитовидну залозу, кришталик ока, гонади і материнський плід [18].

Таблиця 3.11 – Рівні безумовно виправданого екстреного втручання при гострому опроміненні

Орган або тканина	Рівні втручання для поглиненої дози за 2 доби, Гр	Оцінки для МПА, Гр
Усе тіло ¹ (кістяний мозок)	1	2,9E-07
Легені	6	4,3E-06
Шкіра	3	6,1E-05
Щитовидна залоза	5	4,0E-06
Кришталик ока	2	2,9E-07
Гонади	2	2,7E-07
Плід	0,1	2,7E-06

¹ Як правило, застосовується при зовнішньому опроміненні

Виходячи з наведених результатів розрахунку, див. третій стовпець табл. 3.11, ні по одному з наведених критеріїв МПА не потребує здійснення невідкладних контрзаходів. Доза в основному формується за рахунок активності, що була осаджена на поверхню ґрунту.

Невідкладні контрзаходи

Дози опромінення, нормовані в НРБУ-97 для невідкладних контрзаходів, наведено в табл. 3.12, а результати розрахунків нормованих величин для МПА – у табл. 3.13.

Таблиця 3.12 – Нижні границі виправданості та рівні безумовної виправданості для невідкладних контрзаходів

Контрзахід	Доза за перші 2 тижні після аварії					
	Нижні границі виправданості			Рівні безумовної виправданості		
	мЗв	мГр		мЗв	мГр	
	На все тіло	На щитовидну залозу	На шкіру	На все тіло	На щитовидну залозу	На шкіру
Укриття	5	50	100	50	300	500
Евакуація	50	300	500	500	1000	3000
Йодна профілактика						
Діти	-	50 ¹	-	-	200 ¹	-
Дорослі	-	200 ¹	-	-	500 ¹	-
Обмеження перебування на відкритому повітрі						
Діти	1	20	50	10	100	300
Дорослі	2	100	200	20	300	1000

¹ Очікувана доза при внутрішньому опроміненні радіоізотопами йоду, які надходять до організму в плин перших двох тижнів після початку аварії.

Таблиця 3.13 – Оцінки доз за перші 2 тижні після МПА

На все тіло, мкЗв	На щитовидну залозу, мкГр	На шкіру, мГр
4,3	14,1	0,23

Виходячи з наведених у табл. 3.13 розрахункових даних за жодним критерієм нижня межа виправданості основних невідкладних контрзаходів не перевищується при МПА. Тому необхідність планування основних невідкладних контрзаходів немає.

Згідно з розрахунками здійснення допоміжних контрзаходів при такому рівні дози опромінення не доцільно.

3.5 Вплив викидів радіонуклідів на НПС і населення за умов виникнення аварії «Відрив кришки колектору парогенератора – аварійний спайк» (АС)

3.5.1 Вхідні дані для розрахунку дозових навантажень за умов АС

Результативні значення сумарного радіоактивного викиду в навколишнє природне середовище наведено в табл. 3.14.

Таблиця 3.14 – Викид радіоактивних речовин за умов АС

Радіонуклід	Викид в навколишнє середовище, Бк
Kr-87	6,50E+13
Kr-88	2,00E+14
I-131	2,53E+13
I-132	9,20E+13
I-133	8,44E+13
I-134	1,00E+14
I-135	7,90E+13
Cs-134	2,10E+11
Cs-137	5,30E+11
La-140	2,60E+12
Xe-133	2,00E+15
Xe-135	1,70E+15

3.5.2 Результати розрахунків для АС

У табл. 3.15 наведені результати розрахунків об'ємної активності радіонуклідів у приземному шарі атмосферного повітря і щільності випадіння на кордоні з Республікою Білорусь для АС.

Таблиця 3.15 – Результати розрахунків об'ємної активності радіонуклідів у приземному шарі атмосферного повітря на кордоні з Республікою Білорусь та щільності випадінь на поверхню ґрунту для АС

Радіонуклід	Максимальна щільність випадінь на поверхню ґрунту, Бк/м ²
Kr-87	0,00E+00
Kr-88	0,00E+00
I-131	3,67E+04
I-132	4,66E+04
I-133	1,10E+05
I-134	9,03E+03
I-135	7,98E+04
Cs-134	4,66E+01
Cs-137	1,18E+02
La-140	5,43E+02
Xe-133	0,00E+00
Xe-135	0,00E+00

Максимальні значення випадінь на поверхню ґрунту на кордоні з Республікою Білорусь очікуються для ¹³³I – до 110 кБк/м², ¹³⁵I – до 79,8 кБк/м² та ¹³²I – до 46,6 кБк/м².

У табл. 3.8–3.10 наведено результати розрахунків максимальних доз опромінення різних органів і тканин на кордоні з Республікою Білорусь (60 км від джерела викиду) для періодів опромінення 2 доби, 2 тижні і 1 рік.

Таблиця 3.16 – Дози опромінення органів та тканин людини при АС за 2 доби

Нуклід	Легені, Гр	Щитовидна залоза (дорослі), Гр	Кістяний мозок, Гр	Материнський плід, Гр	Кришталік ока, Гр	Гонади, Гр	Шкіра, Гр
Kr-87	1,44E-08	1,66E-08	1,33E-08	1,22E-08	1,55E-08	1,22E-08	0,00E+00
Kr-88	5,36E-07	4,94E-07	4,10E-07	3,94E-07	4,68E-07	3,70E-07	5,48E-07
I-131	3,39E-07	1,16E-05	3,06E-07	2,81E-07	3,36E-07	2,91E-07	1,29E-04
I-132	2,39E-07	1,28E-06	2,09E-07	1,90E-07	2,29E-07	1,91E-07	1,26E-05
I-133	6,95E-07	2,76E-05	6,17E-07	5,71E-07	6,63E-07	5,83E-07	2,12E-04
I-134	3,55E-08	7,40E-08	2,98E-08	2,79E-08	3,43E-08	2,68E-08	1,40E-06
I-135	6,38E-07	7,27E-06	5,77E-07	5,28E-07	6,29E-07	5,43E-07	6,14E-05
Cs-134	2,90E-09	3,11E-09	2,71E-09	2,67E-09	2,27E-09	2,58E-09	1,30E-07
Cs-137	3,38E-09	3,25E-09	2,89E-09	3,17E-09	2,08E-09	2,80E-09	4,36E-07
La-140	1,75E-07	2,94E-08	2,81E-08	1,59E-07	2,53E-08	2,78E-08	1,72E-06
Xe-133	9,60E-08	1,14E-07	7,08E-08	7,08E-08	1,33E-07	6,18E-08	0,00E+00
Xe-135	5,46E-07	6,22E-07	5,00E-07	4,56E-07	6,22E-07	4,25E-07	0,00E+00

Таблиця 3.17 – Дози опромінення органів та тканин людини при АС за 2 тижні

Нуклід	Легені, Гр	Щитовидна залоза (дорослі), Гр	Кістяний мозок, Гр	Материнський плід, Гр	Кришталік ока, Гр	Гонади, Гр	Шкіра, Гр
Kr-87	1,44E-08	1,66E-08	1,33E-08	1,22E-08	1,55E-08	1,22E-08	0,00E+00
Kr-88	5,36E-07	4,94E-07	4,10E-07	3,94E-07	4,68E-07	3,70E-07	5,48E-07
I-131	1,38E-06	5,54E-05	1,29E-06	1,17E-06	1,43E-06	1,21E-06	5,16E-04
I-132	2,39E-07	1,28E-06	2,09E-07	1,90E-07	2,29E-07	1,91E-07	1,26E-05
I-133	8,78E-07	5,24E-05	7,87E-07	7,27E-07	8,52E-07	7,41E-07	2,62E-04
I-134	3,55E-08	7,40E-08	2,98E-08	2,79E-08	3,43E-08	2,68E-08	1,40E-06
I-135	6,47E-07	8,30E-06	5,85E-07	5,36E-07	6,38E-07	5,51E-07	6,18E-05
Cs-134	1,52E-08	1,66E-08	1,47E-08	1,49E-08	1,18E-08	1,47E-08	7,88E-07
Cs-137	1,71E-08	1,81E-08	1,63E-08	1,84E-08	1,10E-08	1,64E-08	2,67E-06
La-140	1,38E-06	5,54E-05	1,29E-06	1,17E-06	1,43E-06	1,21E-06	5,16E-04
Xe-133	9,60E-08	1,14E-07	7,08E-08	7,08E-08	1,33E-07	6,18E-08	0,00E+00
Xe-135	5,46E-07	6,22E-07	5,00E-07	4,56E-07	6,22E-07	4,25E-07	0,00E+00

Таблиця 3.18 – Дози опромінення органів та тканин людини при АС за рік

Нуклід	Легені, Гр	Щитовидна залоза (дорослі), Гр	Кістяний мозок, Гр	Материнський плід, Гр	Кришталік ока, Гр	Гонади, Гр	Шкіра, Гр
Kr-87	1,44E-08	1,66E-08	1,33E-08	1,22E-08	1,55E-08	1,22E-08	0,00E+00
Kr-88	5,36E-07	4,94E-07	4,10E-07	3,94E-07	4,68E-07	3,70E-07	5,48E-07
I-131	1,93E-06	9,11E-05	1,81E-06	1,64E-06	2,01E-06	1,70E-06	6,58E-04
I-132	2,39E-07	1,28E-06	2,09E-07	1,90E-07	2,29E-07	1,91E-07	1,26E-05
I-133	8,86E-07	5,26E-05	7,96E-07	7,34E-07	8,61E-07	7,49E-07	2,62E-04
I-134	3,55E-08	7,40E-08	2,98E-08	2,79E-08	3,43E-08	2,68E-08	1,40E-06
I-135	6,47E-07	8,30E-06	5,85E-07	5,36E-07	6,38E-07	5,51E-07	6,18E-05
Cs-134	2,21E-07	2,44E-07	2,12E-07	2,05E-07	1,94E-07	2,10E-07	2,75E-06
Cs-137	2,62E-07	2,85E-07	2,53E-07	2,54E-07	2,07E-07	2,50E-07	9,65E-06
La-140	3,46E-07	4,26E-08	4,24E-08	2,99E-07	3,59E-08	4,03E-08	2,94E-06
Xe-133	9,60E-08	1,14E-07	7,08E-08	7,08E-08	1,33E-07	6,18E-08	0,00E+00
Xe-135	5,46E-07	6,22E-07	5,00E-07	4,56E-07	6,22E-07	4,25E-07	0,00E+00

3.5.3 Оцінки радіаційних наслідків АС відповідно до вимог НРБУ-97

Екстрені контрзаходи

Рівні екстреного втручання, див. другий стовпець табл. 3.19, орієнтуються на величину поглиненої дози за період 2-х діб. Нормується поглинена доза на все тіло, легені, шкіру, щитовидну залозу, кришталик ока, гонади і материнський плід [18].

Таблиця 3.19 – Рівні безумовно виправданого екстреного втручання при гострому опроміненні

Орган або тканина	Рівні втручання для поглиненої дози за 2 доби, Гр	Оцінки для АС, Гр
Усе тіло ¹ (кістяний мозок)	1	2,8E-06
Легені	6	3,3E-06
Шкіра	3	4,2E-04
Щитовидна залоза	5	4,9E-05
Кришталик ока	2	3,2E-06
Гонади	2	2,5E-06
Плід	0,1	2,7E-06

¹ Як правило, застосовується при зовнішньому опроміненні

Виходячи з наведених результатів розрахунку, див. третій стовпець табл. 3.19, ні по одному з наведених критеріїв АС не потребує здійснення невідкладних контрзаходів. Доза в основному формується за рахунок активності, що була осаджена на поверхню ґрунту.

Невідкладні контрзаходи

Дози опромінення, нормовані в НРБУ-97 [18] для невідкладних контрзаходів, наведено в табл. 3.12, а результати розрахунків нормованих величин для АС – у табл. 3.20.

Таблиця 3.20 – Оцінки доз за перші 2 тижні після АС

На все тіло, мкЗв	На щитовидну залозу, мГр	На шкіру, мГр
10	0,12	0,86

Виходячи з наведених у табл. 3.20 розрахункових даних за жодним критерієм нижня межа виправданості основних невідкладних контрзаходів не перевищується при АС. Тому необхідність планування основних невідкладних контрзаходів немає.

Згідно з розрахунками здійснення допоміжних контрзаходів при такому рівні дози опромінення не доцільно.

ВИСНОВКИ

Зібрано опубліковані дані по викидах радіонуклідів АЕС України й прилеглих країн: Чехії, Словаччини, Угорщини, Румунії й Росії.

Зібрано необхідні метеодані, які впливають на поширення викидів АЕС.

Для моделювання поширення викидів АЕС при нормальних умовах експлуатації й аварійних викидах АЕС вибрані програми PC CREAM і PC COSYMA і протестовані.

Для проведення розрахунків використаний програмний комплекс PC COSYMA, розроблений в National Radiological Protection Board (Національний комітет з радіаційного захисту, Англія) для аварійних ситуацій. Для моделювання розповсюдження радіоактивних речовин в атмосфері та формування доз, обумовлених викидами радіонуклідів з ВП «Рівненська АЕС» в умовах нормальної експлуатації, використовувались програмні комплекси PC CREAM, розроблений в National Radiological Protection Board (Національний комітет з радіаційного захисту, Англія), та CAP-88, розроблений у Environmental Protection Agency (Агентство з охорони навколишнього середовища, США).

Розрахунки по програмі PC COSYMA добре погоджуються з існуючими літературними розрахунковими даними, що дозволяє нам затверджувати, що ця програма придатна для проведення необхідних розрахунків для аварійних ситуацій.

Проведені тестові обчислення по програмі PC CREAM показали погодженість отриманих по ній розрахункових даних з розрахунковими даними, отриманими по іншій аналогічній програмі при нормальних умовах експлуатації. Це дозволяє нам стверджувати, що ми правильно можемо використовувати її для необхідних розрахунків.

Сухопутна границя України розбита на ряд точок, які являються критичними до контролю викидів АЕС України й закордонних країн. У цих

точках обчислені об'ємні активності радіонуклідів і дози для населення, які обумовлені викидами з РАЕС при нормальних умовах. Програмний комплекс підготовлений до подальших детальних розрахунків у відповідність із ТЗ.

У роботі проведені розрахунки та обґрунтовано радіаційний вплив на НПС та населення наслідків викидів радіоактивних речовин наприкладі ВП «РАЕС» за умов нормальної експлуатації та у разі виникнення аварійних випадків.

Показано, що максимально допустимі значення радіаційних критеріїв еквівалентних і поглинених доз в органах і на все тіло на кордонах України виконуються за умов нормальної експлуатації енергоблоків або у разі виникнення проектної аварійної ситуації.

З проектних аварійних ситуацій найбільш небезпечною для людини у період 2 дні і 2 тижні є проектна аварія «Відрив кришки колектора парогенератора – аварійний спайк», дози опромінення від якої складуть 5,4 мкЗв і 10 мкЗв, відповідно, на кордоні з республікою Білорусь. Для періоду 1 рік найбільш небезпечною для людини є максимальна проектна аварія – 18 мкЗв.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. "Протокол про стратегічну екологічну оцінку" ратифікований Законом України № 562-VIII від 01.07.2015 р. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_b99?lang=en. (Ukr).
2. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe. 21.05.2008. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950. (Ukr).
3. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24.11.2010 URL: <https://www.old.minjust.gov.ua/file/33301.docx>. (Ukr).
4. Модельний закон про охорону атмосферного повітря затвердженого на XII пленарному засіданні Міжпарламентської Ассамблеї держав-учасників СНД (Постанова № 12-12 від 8 грудня 1998 р. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/997_a30).
5. Модельний закон про оцінку впливу на навколишнє середовище СНД прийнятий на 35-му пленарному засіданні Міжпарламентської Асамблеї держав-учасниць СНД, міжнародний документ (Постанова N 35-12 від 28 жовтня 2010 р.
6. Convention on Environmental Impact Assessment in Transboundary Context. Ratification 19.03.1999. No 534-XIV. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_272 (Ukr).
7. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуська Конвенція). Ратифіковано Законом N 832-XIV (832-14) від 06.07.99.
8. Директива Ради 2013/59/ЄВРАТОМ від 5 грудня 2013 року про встановлення основних норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання, і скасування директив 89/618/Євратом, 90/641/Євратом, 96/29/Євратом, 97/43/Євратом і 2003/122/Євратом (ОВ L 13, 17.01.2014, с. 1). URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/984_006-13/print.

9. Директива Ради 2014/87/Євратом від 8 липня 2014 року про внесення змін у доповнень до Директиви 2009/71/Євратом про встановлення рамок Співтовариства для ядерної безпеки ядерних установок. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/media/uploaded-files/Директива%20Ради%202014_87_Євратом.pdf.
10. ICRP72 International Commission on Radiological Protection, “Age Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients” ICRP Publication 72, Pergamon Press, Oxford, 1996.
11. Sources, effects and risks of ionizing radiation // United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988 Report to the General Assambly with annexes. — New York, 1988. — 123 p.
12. <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/media/uploaded-files/radi-201359evratom.pdf>.
13. Рекомендації Комісії 2004/2/Євратом від 11 жовтня 2010 року про застосування статті 37 Договору про Євратом (2010/635/Євратом). URL: <https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKewiViL-N5IPmAhWAxcQBHfR4AHUQFjACegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Fold.minjust.gov.ua%2Ffile%2F32447.docx&usg=AOvVaw0srsZJl9gdTMkgOKRoawkF>
14. DIRECTIVE 2014/52/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0052&from=EN>
15. Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0052>
16. Директива 2001/42/ЄС про оцінку впливу окремих державних і приватних проектів на навколишнє середовище. URL: <https://eu-ua.org/yevrointehratsiia/navkolyshnie-seredovyshche>.

17. Закон України "Про охорону атмосферного повітря" від 16.10.1992 № 2707-XII. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2707-12/>.
18. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-XII URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.
19. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел опромінення (НРБУ-97/Д-2000). ДГН 6.6.1-6.5.061-2000). Київ: НКРЗУ, 2000. – 84 с.
20. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-88), 1988.
21. Міністерство екології та природних ресурсів України. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем». Звіт про науково-дослідну роботу “Оцінка впливу АЕС України на вміст радіоактивного йоду в атмосферному повітрі”. Харків, 2018 – 123 с. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/zvit.20.2018.pdf>.
22. Звіт за темою «Проведення оцінки впливу на довкілля майданчику ВП «Рівненська АЕС» Етап 2. Вплив радіаційного фактору на атмосферне повітря (перша редакція) за договором № 0709/849/2.4 от 12.04.2018 р.
23. Звіт «Розробка матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище при експлуатації Запорізької АЕС». Перша редакція. Книга 3. Оцінка впливів експлуатації Запорізької АЕС на навколишнє природне середовище. Частина 2. Повітряне середовище. Вплив радіаційного фактору на атмосферне повітря. Харків, 2015.
24. Звіт про науково-дослідну роботу «Оцінка впливу викидів радіоактивних речовин у атмосферне повітря з Южно-Української АЕС на об'єкти навколишнього середовища і населення». Харків, 2015.
25. Аналитический отчет о состоянии радиационной безопасности и радиационной защиты на АЭС ГП «НАЭК «Энергоатом» в 2014 году. URL: <https://www.slideshare.net/energoatom/ss-50630522>.
26. Обновленная информация. Хмельницкая АЭС. Строительство энергоблоков № 3 и № 4. 2017. URL:

- http://www.energoatom.kiev.ua/files/file/obnovlennaya_informaciya.%20хмельницькая%20аэс.%20строительство%20энергоблоков%20№3%20и%20№4.pdf.
27. Матеріали "Оцінки впливів на навколишнє середовище" (ОВНС) енергоблоку № 2 Хмельницької АЕС (ХАЕС) виконані в 16 томах (19 книгах)
URL: <http://www.хаес.org.ua/store/pages/ukr/ovos/latest>.
28. Звіт про стан радіаційної безпеки на ХАЕС за 2014 рік. URL: <https://www.slideshare.net/energoatom/ss-50630522>
29. АЕС Пакш. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%9F%D0%B0%D0%BA%D1%88.
30. Das Kernkraftwerk Paks 5 im PRIS der IAEA URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk_Paks
31. Das Kernkraftwerk Paks 6 im PRIS der IAEA URL: <http://www/iaea/org/cgi-bin/db.page.pl/pris.prdeta/.htm?country>.
32. Строительство новых блоков венгерской АЭС "Пакш" начнется в 2018 году. URL: <https://ria.ru/atomtec/20180507/1520035960.html>.
33. MVM Paks II Zrt. Environmental Impact Study Implementation of new nuclear power plant units at the Paks site Radiation Exposure of the Population Living near the Site. ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY - RADIATION EXPOSURE OF THE POPULATION LIVING NEAR THE SITE. URL: http://www.paks2.hu/hu/Dokumentumtarolo/Környezeti%20hatástanulmány%20-%20Környezeti%20radioaktivitás%20-%20a%20telephely%20környezetében%20élő%20lakosság%20sugárterhelése_EN.pdf
34. MIR.1200 Preliminary data and information for safety and environmental licensing, Appendix 3.
35. Data for NPP environmental impact analysis (AES-2006 with VVER-1200), Rusatom Overseas JSC, 2014.09.23.
36. АЭС Чернаводэ. URL: <http://www.cne.ro/>.
37. Energy to power our lives. URL: <http://www.nuclearelectrica.ro/>

38. Power Reactor Information System pe situl IAEA: «Nuclear Power Reactor Details — CERNAVODA-3» (англ.) URL: <http://www/iaea.org/programmes/a2>.
39. ↑ Power Reactor Information System pe situl IAEA: «Nuclear Power Reactor Details — CERNAVODA-4» (англ.)
40. ↑ Power Reactor Information System pe situl IAEA: «Nuclear Power Reactor Details — CERNAVODA-5» (англ.)
41. Nuclear Power Reactors in the World. — Vienna: IAEA, 2015. — 79 p. — (Reference Data Series 2). — ISBN 978-92-0-104915-5.
42. Country Nuclear Fuel Cycle Profiles. — Vienna: IAEA, 2005. — 91 p. — (Technical Reports Series No.425). — ISBN 92-0-114803-8.
43. Romania. Discharge Data Sets. Cernavoda. URL: <http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox;jsessionid=UilGYLEjJIH2OSqkblB2u9v3lMHKn8wj!-1839268352?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=UilGYLEjJIH2OSqkblB2u9v3lMHKn8wj!-1839268352!1560253870371&redirectAction=null;jsessionid=UilGYLEjJIH2OSqkblB2u9v3lMHKn8wj!-1839268352>
44. International Energy Agency, Electricity Information. 2018
45. Slovenské Elektrárne Celebrates 25th Anniversary of Bohunice Unit 3, Slovenské Elektrárne press release (27 June 2009); Slovenské Elektrárne Increases Power Output at Bohunice NPP, Slovenské Elektrárne press release (23 October 2009).
46. Country Nuclear Power Profiles: Slovakia, International Atomic Energy Agency.
47. Slovenské elektrárne. URL: <http://www.seas.sk>.
48. Javys website. URL: <http://www.javys.sk>.
49. The Source Book on Soviet-Designed Nuclear Power Plants, Nuclear Energy Institute Energy in East Europe, 3 February 2006.
50. B. L. Loffe and O. V. Shvedov, Heavy water reactors and nuclear power plants in the USSR and Russia: Past, present, and future, Atomic Energy, April 1999, Volume 86, Issue 4, p. 295–304 .

51. Nuclear Power in Slovakia. URL: <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/slovakia.aspx>.
52. Nuclear Power in Slovakia. URL: <https://www.webcitation.org/65PeeWgOW?url=http://www.world-nuclear.org/info/inf91.html#>.
53. Архив погоды в Трнаве. URL: <https://world-weather.ru/archive/slovakia/trnava>.
54. Current status of the nuclear industry. URL: <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=543>.
55. Slovakia. Discharge Data Sets. Bohunice A. URL: [.http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=UilGYLEjJIH2OSqkblB2u9v3lMHKn8wj!-1839268352!1560253870371&redirectAction=search](http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=UilGYLEjJIH2OSqkblB2u9v3lMHKn8wj!-1839268352!1560253870371&redirectAction=search).
56. Slovakia. Discharge Data Sets. Bohunice B. URL: [.http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=UilGYLEjJIH2OSqkblB2u9v3lMHKn8wj!-1839268352!1560253870371&redirectAction=search](http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=UilGYLEjJIH2OSqkblB2u9v3lMHKn8wj!-1839268352!1560253870371&redirectAction=search).
57. Росатом предлагает построить два новых энергоблока АЭС Моховце в Словакии. URL: <https://www.seogan.ru/rosatom-predlagaet-postroit-dva-novix-energobloka-aes-moxovce-v-slovakii.html>.
58. АЭС Моховце. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%9C%D0%BE%D1%85%D0%BE%D0%B2%D1%86%D0%B5.
59. Slovakia. Discharge Data Sets. Mohovice URL: <http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=UilGYLEjJIH2OSqkblB2u9v3lMHKn8wj!-1839268352!1560253870371&redirectAction=search>.
60. АЭС Моховце. URL: <https://www.seogan.ru/slovakiya/aes-moxovce>.
61. Power Reactor Information System. URL: <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=550>.

62. Czech Republic. Discharge Data Sets. Mohovce-3. URL: <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=551>.
63. Czech Republic. Discharge Data Sets. Mohovce-4. URL: <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=544>.
64. Czech Republic. Discharge Data Sets. Mohovce. URL: <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=545>.
65. Czech Republic. Discharge Data Sets. Mohovce. <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=550>.
66. Архив погоды в Левицах. URL: <https://world-weather.ru/archive/slovakia/levice>.
67. http://trebicky.denik.cz/zpravy_region/bude-se-stavet-nova-elektrarna-v-dukovanech.html.
68. Power Reactor Information System of the МАГАТЭ: «Czech Republic: Nuclear Power Reactors» Архивировано 4 июня 2011 года. (english).
69. Czech Republic. Discharge Data Sets. Temelin. URL: <http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=0WkxeEJHTIPFcxt9tzZKyOE8fRiZ-y1L!-7629!1559903093319&redirectAction=search/>.
70. Verification under the terms of Article 35 of the Euratom Treaty. Technical Report. CZECH REPUBLIC. Dukovany Nuclear Power Plant. Discharge and environmental monitoring and national environmental radioactivity monitoring network in the vicinity 2 - 5 October 2017. Reference: CZ 17-03 URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/art_35_technical_report_cz_17-03.pdf.
71. Khmelnitsky NPP. Construction of Units 3, 4. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0441.pdf>.

72. <http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=0WkxeEJHTIPFcxt9tzZKyOE8fRiZ-y1L!-7629!1559903093319&redirectAction=search>.
72. Temelin Nuclear Power Station. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki:Temelin-Nuclear_Power_Station.jpg.
73. <http://www.iaea.org/cgi-bin/db.page.pl/pris.prdet.htm?country=CZ&refno=26>.
74. <http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox?action=submit&pageID=NuclideDischargeOverview&sessionId=0WkxeEJHTIPFcxt9tzZKyOE8fRiZ-y1L!-7629!1559903093319&redirectAction=search>.
75. Станции и проекты. URL: www.rosenergoatom.ru.
76. Валерий Лимаренко: российских специалистов ждёт новоселье на АЭС «Бушер». URL: <https://news.rambler.ru/other/39860654-valeriy-limarenko-rossiyskih-spetsialistov-zhdet-novosele-na-aes-busher/>
77. Ростовская АЭС: название возвращается // ОАО «Концерн Росэнергоатом». 30.04.2010. URL: <https://news.rambler.ru/other/39860654-valeriy-limarenko-rossiyskih-spetsialistov-zhdet-novosele-na-aes-busher/>
78. Росатом начал загрузку ядерного топлива на четвёртом блоке Ростовской АЭС. ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/4790438>
79. Ростовская АЭС стала в 2017 году лучшей среди атомных станций России по культуре безопасности. www.rosenergoatom.ru. URL: www.rosenergoatom.ru.
80. Годовой отчёт Концерна "Росэнергоатом" за 2018 год. URL: <https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/424/424d8e61040c2e649818fcfd2277dbec.pdf>.
81. Энергоблок № 4 Ростовской АЭС за первый год работы выработал 7 млрд кВтч электроэнергии. URL: <http://www.rosenergoatom.ru>.
82. Ростовская АЭС на 7,8% перевыполнила план января по выработке электроэнергии. URL: <http://www.rosenergoatom.ru>.
83. В 2018 году Ростовская АЭС выработала свыше электроэнергии 29 млрд кВт.ч. URL: <http://www.rosenergoatom.ru>.

84. Rostov-1. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=502>.
85. Архив погоды в Волгодонске. URL: <https://world-weather.ru/archive/russia/volgodonsk>.
86. СанПиН 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). – М., 2003.
87. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств году Ежегодник. Обнинск. Росгидромет, 2013. URL: http://meteorf.ru/upload/iblock/999/ezhegodnik_2012.pdf.
88. <http://www.rad-proceedings.org/paper.php?id=128>.
89. Vol. 2, 2017 RADIOACTIVE ATMOSPHERIC DISCHARGES OF THE EUROPEAN AND RUSSIAN NUCLEAR POWER PLANTS Michael Zhukovsky, Aleksey Vasilyev, Aleksey Ekin, Maksim Vasyanovich, Maria Pyshkina, Maksim Semenov, Ekaterina Murashova, Ivan Kapustin Pages: 126-131 DOI: 10.21175/RadProc.2017.26.
90. <https://web.archive.org/web/20080620045616>
91. Нововоронежская АЭС. URL: <https://web.archive.org/web/20080620045616/http://snpp.rosenergoatom.ru/rus>.
92. SMOLENSK-1. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=486>.
93. SMOLENSK-2. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=487>.
94. SMOLENSK-3. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=488>.
95. МАГАТЭ: Nuclear Power Reactor Details — SMOLENSK-4 (english).
96. Архив погоды в Десногорске. URL: <https://world-weather.ru/archive/russia/desnogorsk/>
97. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2006 году. Ежегодник/Под ред. С.М. Вакуловского. Нижний Новгород. Изд-во

- Вектор-Тис. 2007. 279 с. URL:
https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/c0c/ezhegodnik_2006.pdf.
98. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2007 году. Ежегодник/Под ред. С.М. Вакуловского. Нижний Новгород. Изд-во Вектор-Тис. 2007. 287 с. URL:
https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ba8/ezhegodnik__2007.pdf.
99. . Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2009 году. Ежегодник/Под ред. С.М. Вакуловского. Нижний Новгород. Изд-во Вектор-Тис. 2009. 291 с. URL:
https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/2d0/ezhegodnik_ro_2009.pdf.
100. . Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2012 году. Ежегодник/Под ред. С.М. Вакуловского. Нижний Новгород. Изд-во Вектор-Тис. 2012. 290 с. URL:
http://meteorf.ru/upload/iblock/999/ezhegodnik_2012.pdf.
101. Годовой отчёт 2017 с. 66-75. URL: <https://rosenergoatom.ru> .
102. IAEA. Criteria for Diverse Actuation Systems for Nuclear Power Plants, ANNEX VI. — ISBN 978–92–0–103518–9.
103. Е.В. Андропов, И.Р. Коган, В.П. Поваров, Л.П. Павлов. Алгоритмизация управления диверсной системой комплексной защиты блоков АЭС // Вестник Воронежского государственного технического университета : Журнал. — 2015. — Т. 11, № 5. — С. 51—58. — ISSN 1729-6501.
103. NOVOVORONEZH-1. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL:
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=499>.
104. NOVOVORONEZH-2. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL:
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=513>.
105. NOVOVORONEZH-3. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL:
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=499>.
106. NOVOVORONEZH-4. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL:
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=448>.

107. NOVOVORONEZH-5. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=483>.
108. NOVOVORONEZH 2-1. Operational. Country Statistics. IAEA. PRIS. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=898>.
109. Архив погоды в Воронеже по месяцам и сезонам. URL: <https://world-weather.ru/archive/russia/voronezh>.
110. Курская АЭС-2. URL: http://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-kurskoj-aes/kurskaya-aes-2.
111. На Курской АЭС-2 началось сооружение новых блоков. URL: <http://www.atominfo.ru>.
112. Росэнергоатом. Станции и проекты. Курская АЭС – 2. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/ad0/ad08fbc03575677de12b5f5c456cfc98.pdf>.
113. Архив погоды в Курчатове по месяцам и сезонам. URL: <https://world-weather.ru/archive/russia/kurchatov>.
114. J. A. Jones, P. A. Mansfield, S. M. Haywood et al. PC COSYMA (Version 2): An accident consequence assessment package for use on a PC. – Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996. – 59 pp.
115. В.Ф.Козлов. Справочник по радиационной безопасности. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
116. PC-CREAM 97. Installing and Using the PC System for Assessing the Radiological Impact of Routine Releases / A. Mayall, T. Cabianca, C. Attwood et al. – NRPB, 1997. – 172 p.
117. Radiation Protection. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). – N.Y.: Pergamum Press, 1991. – 197 p.
118. ICRP72 International Commission on Radiological Protection, “Age Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients” ICRP Publication 72, Pergamum Press, Oxford, 1996.

119. Simmonds J.R., Lawson G., Mayall A. Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment. Radiation Protection. – NRPB, 1995. – 353 p.
120. Состояние радиационной безопасности и радиационной защиты на Запорожской атомной электростанции в 2014 году. Ежегодный отчет. Нижний Новгород, 2014. – 138 с.
121. Состояние радиационной безопасности и радиационной защиты на Запорожской атомной электростанции в 2013 году. Ежегодный отчет. Нижний Новгород, 2013. – 142 с.
122. Состояние радиационной безопасности и радиационной защиты на Запорожской атомной электростанции в 2012 году. Нижний Новгород, 2012. – Ежегодный отчет. 140 с.
123. Состояние радиационной безопасности и радиационной защиты на Запорожской атомной электростанции в 2011 году. Ежегодный отчет. Нижний Новгород, 2011. – 122 с.
124. Программа повышения уровня радиационной безопасности и обеспечения радиационной защиты в ОП ЗАЭС. 00.РБ.00.ПМ.2.А. – 2012. 107 с.
125. Рекомендации по установлению предельно допустимого и контрольного уровня выбросов углерода-14 (для Запорожской АЭС) / Институт биофизики. – М., 1992.
126. Коваленко Г.Д. Радиоэкология Украины: Монография. □ 2-е изд., перераб. и доп. – Х: ИД «Инжэк», 2008. – 264 с.
127. Берковський В. Б., Ліхтарьов І. А., Бончук Ю. В., Ратія Г. Г., Л. В. Близнюкова. Порядок встановлення допустимих рівнів скидів і викидів АЕС України (радіаційно гігієнічні регламенти І групи). Методичні вказівки/ Комісія з питань гігієнічного регламентування радіоактивних речовин і радіаційних факторів, Комітет з питань гігієнічного регламентування, МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ. Київ – 2002 р. –57 с.
128. Карташев В. В. Расчет максимально неблагоприятных метеорологических условий для оценки влияния проектных аварий на АЭС Украины / Проблемы

охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. / УкрНДІЕП. – Х.: ВД „Райдер”. – 2016. –214 с.

129. МЕТОДИКА оцнки источника выбросов радионуклидов при возникновении аварии в реакторной установке ВВЭР-1000. 00.РБ.ХУ.МТ.07 14.

ДОДАТОК А
Технічне завдання



ЗАТВЕРДЖЕНО:

Директор УКРНДІЕП

Гриценко А.В.

« 6 » 12 2018 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання прикладної наукової роботи
за темою № 28

1. Найменування прикладної наукової роботи

«Оцінка взаємного трансграничного впливу АЕС України та суміжних країн».

2. Підстава виконання

Тематичний план прикладних наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок за бюджетною програмою КПКВК 2401040 «Прикладні наукові та науково-технічні розробки, виконання робіт за державними цільовими програмами і державним замовленням у сфері природоохоронної діяльності, фінансова підтримка підготовки наукових кадрів» на 2019-2021 рр.

Конвенція про оцінку впливу на навколишнє середовище в трансграничному контексті (Конвенція Еспо), ратифікована Законом України N 534-XIV від 19.03.1999 р.;

Директива 2014/52/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 16 квітня 2014 р.;

Директива 2001/42/ЄС про оцінку впливів окремих планів та програм на навколишнє середовище від 27 червня 2001 р.

3. Основні завдання

Актуальність робіт полягає в необхідності оцінки впливу на довкілля АЕС та дослідження взаємного трансграничного впливу забруднення атмосферного повітря та ґрунту викидами радіоактивних речовин АЕС України та суміжних країн у трансграничному контексті відповідно до положень Конвенції Еспо та Директив 2014/52/ЄС та 2001/42/ЄС.

Метою роботи є дослідження впливу забруднення, в тому числі і у трансграничному контексті, атмосферного повітря та ґрунту викидами радіоактивних речовин з АЕС України та суміжних країн.

Виходячи з актуальності та мети роботи, основними завданнями є наступні:

Провести збір даних щодо викидів радіонуклідів в атмосферне повітря та ґрунт АЕС України та суміжних країн: Чеської Республіки, Словацької Республіки, Угорщини, Румунії та Російської Федерації.

Здійснити вибір та тестування програм для розрахунку моделювання розповсюдження радіоактивних речовин в атмосферному повітрі.

Провести розрахунки й обґрунтувати радіаційний вплив на кордоні від АЕС України та суміжних країн за умов нормальної експлуатації та у разі виникнення аварійних викидів.

4. Вихідні дані

Робота виконується вперше з використанням результатів, отриманих за попередні роки:

- виконано НДР за темами "Трансграничний вплив на якість атмосферного повітря теплових електростанцій України при спалюванні вугілля" та "Трансграничний вплив викидів суміжних держав на забруднення атмосферного повітря в Україні";

- багаторічний досвід моделювання розповсюдження та розрахунку викидів в атмосферне повітря АЕС України.

5. Основні результати

1. Оцінка забруднення атмосферного повітря та ґрунту радіонуклідами за рахунок викидів АЕС України та суміжних країн на кордоні України.

2. Дозові навантаження на населення на кордоні.

3. Величини радіаційних ризиків на кордоні.

За результатами робіт буде підготовлено науково-технічний звіт, що містить результати досліджень, які будуть використані для прийняття управлінських рішень щодо забезпечення виконання вимог Конвенції Еспо. Методи оцінки забруднення атмосферного повітря та ґрунту радіоактивними речовинами з АЕС України та суміжних країн, може бути використані і для інших джерел забруднення.

6. Етапи прикладної наукової роботи та терміни виконання


Заключний звіт має бути складено до 20 грудня 2021 року.

Дата презентації заключного звіту – 25 грудня 2021 року.

Проміжний звіт по результатам досліджень 2019 року (1-й етап) орієнтовно має бути складено до 15 грудня 2019 року.

Презентація – грудень 2019 р.

Науковий керівник,
В.о. завідувач лабораторії радіоекологічної
безпеки та радіаційного моніторингу,
канд. фіз.-мат. наук


_____ В.І. Вітько

ДОДАТОК Б
Внутрішня рецензія

РЕЦЕНЗІЯ

на звіт про науково-дослідну роботу за темою № 28/2.4 «Оцінка взаємного трансграничного впливу АЕС України та суміжних країн» Етап 1 «Збір необхідних даних щодо викидів штучних радіонуклідів в атмосферне повітря АЕС України та суміжних країн, метеорологічних характеристик та інших необхідних для розрахунків даних»

Підвищений вміст штучних радіоізотопів у атмосферному повітрі, який спостерігається у країнах Європи протягом багатьох років, підтверджує актуальність цієї роботи. Крім того, у законодавстві більшості країн використовується рекомендований МАГАТЕ ліміт дози опромінення людини 1 мЗв/рік, але на практиці сукупний вплив багатьох джерел не враховується. Виконувана робота дозволить частково вирішити деякі завдання у цій проблемі. Розглянутий звіт є першим етапом роботи, у якій, згідно з технічним завданням, буде оцінений сукупний вплив на навколишнє природне середовище та людину атомних електростанцій суміжних з Україною країн: Угорщини, Румунії, Словаччини, Чехії та Росії.

У розглянутому звіті проведено дослідження вхідних характеристик джерел викидів радіоактивних речовин у атмосферне повітря, а саме: АЕС України, Чеської Республіки, Словацької Республіки, Угорщини, Румунії та Російської Федерації. Також розглянуто географічне розташування, кліматичні характеристики та інші умови для подальших розрахунків, оскільки основним методом досліджень є математичне моделювання.

Друга частина роботи містить результати досліджень використовуваного математичного апарату. Наведений детальний опис математичного апарату. Проведено верифікацію використовуваних моделей за допомогою порівняння з розрахунками інших авторів та власного тестування. Результати повністю обґрунтовують доцільність використання саме обраних моделей.

Заключна частина звіту є апробацією алгоритму розрахунків. В якості тестового об'єкту обрано ВП «Рівненська АЕС». У результаті побудовані графіки, які ілюструють вплив викидів радіонуклідів у атмосферне повітря з ВП «Рівненська АЕС» на навколишнє природне середовище та людину у критичних точках на кордоні України. Для території Республіки Білорусь, яка є найближчою до ВП «Рівненська АЕС», наведені розгорнуті результати досліджень впливу за умов нормальної (безаварійної) роботи та за умов виникнення проектних аварійних ситуацій (розглянуті дві найбільші проектні аварії). Ґрунтовно доведено, що за умов нормальної експлуатації вплив викидів радіонуклідів з ВП «Рівненська АЕС» на територію Республіки Білорусь є вкрай малим. Також обґрунтовано, що за умов виникнення найбільших проектних аварій згідно з Нормами радіаційної безпеки ніяких контрзаходів застосовувати не буде потреби.

В цілому матеріали звіту про науково-дослідну роботу за темою № 28/2.4 «Оцінка взаємного трансграничного впливу АЕС України та суміжних країн» Етап 1 «Збір необхідних даних щодо викидів штучних радіонуклідів в атмосферне повітря АЕС України та суміжних країн, метеорологічних характеристик та інших необхідних для розрахунків даних» дозволяють зробити висновки про актуальність, наукову новизну, високий науковий рівень, практичну цінність та відповідність технічному завданню наведених матеріалів.

Зав. сектором УКРНДІЕП, канд. техн. наук, с.н.с

Підпис засвідчую:

Менеджер з персоналу УКРНДІЕП

С. М. Варламов

С. В. Кривонос



ДОДАТОК В
Зовнішня рецензія

РЕЦЕНЗІЯ

на звіт про науково-дослідну роботу за темою № 28/2.4 «Оцінка взаємного транскордонного впливу АЕС України та суміжних країн» Етап 1 «Збір необхідних даних щодо викидів штучних радіонуклідів в атмосферне повітря АЕС України та суміжних країн, метеорологічних характеристик та інших необхідних для розрахунків даних»

Актуальність цієї науково-дослідної роботи обумовлена вимогами цілої низки Міжнародних Конвенцій та Законів України (Конвенції Еспо, Директив 2014/52/ЄС, 2001/42/ЄС, Закону України «Про охорону атмосферного повітря», Норм радіаційної безпеки України та ін.).

В першому розділі наведені результати досліджень параметрів викидів радіоактивних речовин у атмосферне повітря з АЕС України, Чехії, Словаччини, Угорщини, Румунії та Росії. Також розглянуті важливі для подальших розрахунків метеорологічні умови, які впливають на розповсюдження радіоактивних домішок у атмосферному повітрі.

У розділі 2 наведений детальний опис використовуваного методу досліджень, а саме математичного моделювання. Наведений опис програмних комплексів використовуваних для випадків аварійних ситуацій та штатного режиму експлуатації (PC COSYMA 2, PC CREAM). Проведено тестування моделей та обґрунтовано доцільність їх використання.

У третьому розділі наведені результати тестових розрахунків на прикладі ВП «Рівненська АЕС». Детально проведений аналіз розрахунків для найближчої суміжної країни, а саме Республіки Білорусь, відстань до якої складає близько 60 км. Показано, що вплив ВП «Рівненська АЕС» у штатному режимі експлуатації на довкілля та населення знаходиться на достатньо низькому рівні (менше 1% від квоти), також показано, що у разі виникнення найбільших проектних аварій введення запобіжних заходів для населення не доцільно згідно з Нормами радіаційної безпеки України. Побудовані графіки, на яких відстежено вплив на усі суміжні країни.

Згідно з технічним завданням в результаті роботи необхідно буде оцінити взаємний транскордонний вплив на навколишнє природне середовище та населення АЕС України, Угорщини, Румунії, Словаччини, Чехії та Росії.

В цілому матеріали звіту про науково-дослідну роботу за темою № 28/2.4 «Оцінка взаємного транскордонного впливу АЕС України та суміжних країн» Етап 1 «Збір необхідних даних щодо викидів штучних радіонуклідів в атмосферне повітря АЕС України та суміжних країн, метеорологічних характеристик та інших необхідних для розрахунків даних» дозволяють зробити висновки про актуальність роботи, високий науковий рівень, практичну цінність та відповідність технічному завданню.

Вчений секретар, директор наукового центру НЦ-4
ННЦ «Інститут метеорології», канд. техн. наук, с.н.с.



В.В. Склярів

ДОДАТОК Г
Витяг з протокола Вченої ради УКРНДІЕП



МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ

**НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»
(УКРНДІЕП)**

ВИТЯГ ІЗ ПРОТОКОЛУ

10.12.2019 № 7
м. Харків

засідання вченої ради

Склад Вченої ради науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» затверджено директором установи Гриценком А. В. від 30.01.2019 р. у складі 27 осіб.

ПРИСУТНІ:

1. Голова Вченої ради – Гриценко Анатолій Володимирович – д-р геогр. наук, проф., директор
2. Заступник голови Вченої ради – Васенко Олександр Георгійович – канд. біол. наук, старш. наук. співроб., доц., перший заступник директора з наукової роботи, завідувач лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони
3. Заступник голови Вченої ради Дмитрієва Олена Олексіївна – д-р екон. наук, старш. наук. співроб., заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, завідувач лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля
4. Секретар Вченої ради – Савченко Наталя Володимирівна – вчений секретар
5. Брук Володимир Вікторович – канд. техн. наук, в. о. завідувача лабораторії проблем формування та регулювання якості вод
6. Варламов Євгеній Миколайович – канд. техн. наук, старш. наук. співроб., завідувач сектору засобів і методів моніторингу навколишнього природного середовища лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля
7. Гутков Георгій Валентинович – завідувач сектору дослідження технологічних викидів забруднюючих речовин та еколого-енергетичного аудиту лабораторії охорони атмосферного повітря та систем управління відходами; голова первинної профспілкової організації
8. Жуковський Тимофій Федорович – канд. техн. наук, старш. наук. співроб., завідувач лабораторії охорони атмосферного повітря та систем управління відходами

9. Калініченко Олена Олексіївна – завідувач лабораторії еколого-аналітичних досліджень
 10. Квасов Володимир Андрійович – канд. техн. наук, старш. наук. співроб., провідний науковий співробітник сектору засобів і методів моніторингу навколишнього природного середовища лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля
 11. Клімов Олександр Васильович – канд. геогр. наук, завідувач сектору досліджень територій особливої охорони лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони
 12. Коваленко Григорій Дмитрович – д-р фіз.-мат. наук, проф., старший науковий співробітник лабораторії радіоекологічної безпеки та радіаційного моніторингу
 13. Козловська Оксана Вікторівна – науковий співробітник лабораторії радіоекологічної безпеки та радіаційного моніторингу; голова Ради молодих вчених
 14. Крайнюкова Алла Миколаївна – д-р біол. наук, проф., завідувач лабораторії біологічних досліджень та біотестування
 15. Маркіна Надія Кузьмівна – завідувач лабораторії екологічної гідрогеології та оцінювання екологічного стану територій
 16. Палагута Оксана Анатоліївна – канд. техн. наук, старший науковий співробітник сектору засобів і методів моніторингу навколишнього природного середовища лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля; член Ради молодих вчених
 17. Пісня Леонід Андрійович – канд. техн. наук, провідний науковий співробітник лабораторії оцінки впливу на навколишнє середовище та екологічної експертизи
 18. Саввова Оксана Вікторівна – д-р. техн. наук, доц., старший науковий співробітник лабораторії радіоекологічної безпеки та радіаційного моніторингу
 19. Свердлов Борис Соломонович – старший науковий співробітник лабораторії оцінки впливу на навколишнє середовище та екологічної експертизи
 20. Ткачова Олена Володимирівна – завідувач сектору розробки систем управління відходами лабораторії охорони атмосферного повітря та систем управління відходами
 21. Уberman Володимир Ілліч – канд. техн. наук, провідний науковий співробітник лабораторії проблем формування та регулювання якості вод
 22. Хабарова Ганна Володимирівна – канд. техн. наук, старший науковий співробітник лабораторії радіоекологічної безпеки та радіаційного моніторингу, член Ради молодих вчених
 23. Цапко Наталія Сергіївна – канд. техн. наук, начальник відділу міжнародного співробітництва та науково-технічної інформації; вчений секретар спеціалізованої вченої ради К 64.812.01
 24. Шевченко Людмила Петрівна – завідувач сектору оцінювання екологічного стану територій лабораторії екологічної гідрогеології та оцінювання екологічного стану територій
 25. Юрченко Анатолій Іванович – завідувач лабораторії природоохоронних заходів в агропромисловому та паливно-енергетичному комплексах
-

ЗАПРОШЕНІ:

Старко М. В. – старший науковий співробітник, УКРНДІЕП;

Ісєлева О. Ю. – науковий співробітник, УКРНДІЕП;

Карлюк А. А. – науковий співробітник, УКРНДІЕП;

Доценко О. О. – науковий співробітник, УКРНДІЕП;

Мельник Л. В. – науковий співробітник, УКРНДІЕП;

Вітько В. І. – провідний науковий співробітник, канд. фіз.-мат. наук, УКРНДІЕП;

Свиридов Ю. В. – аспірант, УКРНДІЕП.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ

1. Про розгляд звіту про науково-дослідну роботу № 28 «Оцінка взаємного транскордонного впливу АЕС України та суміжних країн» (проміжний звіт) на замовлення Мінприроди України.

Науковий керівник: Вітько Валерій Іванович

Доповідач: Хабарова Ганна Володимирівна

Рецензент внутрішній: Варламов Євген Миколайович

Рецензент зовнішній: Склярів Володимир Васильович, вчений секретар, директор наукового центру НЦ-4 ННЦ «Інститут метрології», канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

1. СЛУХАЛИ:

Хабарова Г. В. – виступила з доповіддю про розгляд науково-дослідної роботи № 28 «Оцінка взаємного транскордонного впливу АЕС України та суміжних країн» (проміжний звіт) на замовлення Мінприроди України. У своїй доповіді вона розповіла, що актуальність роботи полягає в тому, що згідно Конвенції ЕСПО необхідно проводити оцінку впливу на навколишнє середовище запланованих видів діяльності, які можуть призводити до значного шкідливого транскордонного впливу.

Відповідно до вимог Директив 2014/52/ЄС та 2001/42/ЄС проводиться оцінка екологічних наслідків державних і приватних проєктів, які, ймовірно, матимуть значний вплив на навколишнє середовище, у тому числі, атомні електростанції.

Тому дослідження впливу забруднення, в тому числі і у транскордонному контексті, атмосферного повітря викидами радіоактивних речовин з АЕС України та суміжних країн є актуальним.

Основні завдання роботи:

1. Збір даних щодо викидів радіонуклідів в атмосферне повітря АЕС України та суміжних країн: Чеської Республіки, Словацької Республіки, Угорщини, Румунії та Росії.
2. Збір необхідних метеоданих, які впливають на поширення викидів АЕС.
3. Вибір та тестування програм розрахунків моделювання розповсюдження радіоактивних речовин в атмосферному повітрі.
4. Розрахунки й обґрунтування радіаційного впливу на кордоні України та можливі наслідки викидів радіоактивних речовин на прикладі ВП «РАЕС» за умов нормальної

Основні результати роботи:

1. Проведено збір даних щодо викидів радіонуклідів в атмосферне повітря АЕС України та суміжних країн: Чеської Республіки, Словацької Республіки, Угорщини, Румунії та Росії.
2. Проведено збір метеорологічних характеристик та інших необхідних для подальших розрахунків даних.
3. Проведено верифікацію використовуваних моделей за допомогою порівняння з розрахунками інших авторів. Результати власного тестування повністю обґрунтовують доцільність використання саме обраних моделей.
4. Проведено розрахунки та обґрунтовано радіаційний вплив на кордоні України наслідків викидів радіоактивних речовин на прикладі ВП «РАЕС» за умов нормальної експлуатації та у разі виникнення аварійних викидів.

Висновки:

1. Виконана наукова робота повністю відповідає ТЗ.
2. Зібрано опубліковані дані по викидах радіонуклідів АЕС України й прилеглих країн: Чеської Республіки, Словацької Республіки, Угорщини, Румунії й Росії.
3. Зібрано необхідні метеодані, які впливають на поширення викидів АЕС.
4. Для моделювання поширення викидів АЕС при нормальних умовах експлуатації й аварійних викидах АЕС вибрані програми PC CREAM і PC COSYMA і протестовані.
5. Проведені розрахунки та обґрунтовано радіаційний вплив на кордоні України наслідків викидів радіоактивних речовин на прикладі ВП «РАЕС» за умов нормальної експлуатації та у разі виникнення аварійних викидів.

ВИСТУПИЛИ:

Ткачова О. В.: – поцікавилася чим обумовлено вплив викидів в атмосферне повітря Рівненської АЕС на Республіку Білорусь?

Квасов В. А.: – запитав чи зібрані для роботи метеодані корелюють з розрахунковими даними, які впливають на поширення викидів АЕС?

Уберман В. І.: – поцікавився за яким принципом обрані точки для розрахунку на кордоні суміжних країн?

Юрченко А. І.: – спитав з яких джерел взята вихідна інформація по викидам радіонуклідів АЕС суміжних країн?

Доповідач відповіла на питання у повному обсязі.

Васенко О. Г.: – зазначив, що подана робота цікава. Запропонував ухвалити роботу та рекомендувати представити для розгляду до Мінікоенерго України.

Гриценко А.В.: – відмітив, що робота відповідає технічному завданню та виконана у повному обсязі. Запропонував ухвалити звіт про науково-дослідну роботу, рекомендувати представити роботу для розгляду до Мінікоенерго України та приступити до відкритого голосування.

При відкритому голосуванні було подано 25 голоси:
«ЗА» – 25; «ПРОТИ» – немає; «УТРИМАЛИСЬ» – немає.

УХВАЛИЛИ:

Заслухавши інформацію Хабарової Ганни Володимирівни про розгляд науково-дослідної роботи № 28 «Оцінка взаємного транскордонного впливу АЕС України та суміжних країн» (проміжний звіт) на замовлення Міністерства згідно Тематичного плану прикладних наукових досліджень за бюджетною програмою КПКВК 2401040 «Прикладні наукові та науково-технічні розробки, виконання робіт за державними цільовими програмами і державним замовленням у сфері природоохоронної діяльності, фінансова підтримка підготовки наукових кадрів» УКРНДЦЕП на 2019-2021 роки, Вчена рада прийняла рішення звіт ухвалити та рекомендувати представити роботу для розгляду до Мінекоенерго України.

Голова Вченої ради



Вчений секретар

 А. В. Грищенко

 Н. В. Савченко