МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

Г.М. ФРАНЧУК, В.М. ІСАЄНКО

ЕКОЛОГІЯ, АВІАЦІЯ І КОСМОС

Навчальний посібник

Київ 2004

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

Г.М. ФРАНЧУК, В.М. ІСАЄНКО

ЕКОЛОГІЯ, АВІАЦІЯ І КОСМОС

Навчальний посібник

Київ 2004

УДК 504.054:629.78
ББК Е 081 я7
Ф 846

Рецензенти: *О.М.Трофимчук* – докт.техн.наук, заступник директора Українського інституту досліджень навколишнього середовища і ресурсів при РНБО України; *В.М.Кавунов* – начальник управління розвитку та сертифікації аеропортів

Франчук Г.М., Ісаєнко В.М.

Ф 846 Екологія, авіація і космос: Навч. посібник. – К.: НАУ, 2004. – 456 с.

Викладені основні екологічні проблеми під час експлуатації авіаційної та наземної аеродромної техніки, при застосуванні авіації в сільському господарстві.

Розглянуті методи і засоби захисту атмосферного повітря, гідросфери і літосфери від виробничих забруднень, від авіаційного шуму, електромагнітних випромінювань радіочастот.

Наведені характеристики існуючої та перспективної ракетно-космічної техніки (РКТ), визначені основні фактори антропогенної дії РКТ на всіх етапах її функціонування – створення, експлуатації та ліквідації (утилізації).

Розглянуті правові та нормативно-методичні аспекти забезпечення і контролю екологічної безпеки авіаційної і ракетно-космічної техніки.

Призначений для студентів спеціальності “Екологія і охорона навколишнього середовища”, а також для аспірантів, студентів і викладачів технічних вузів, пов’язаних з розробкою, експлуатацією і ліквідацією авіаційної та ракетно-космічної техніки і виникаючими при цьому екологічними проблемами.

УДК 504.054:629.78
ББК Е 081 я7

© Г.М. Франчук, В.М. Ісаєнко 2004

Навчальне видання

ФРАНЧУК Григорій Михайлович
ІСАЄНКО Володимир Миколайович

ЕКОЛОГІЯ, АВІАЦІЯ І КОСМОС

Навчальний посібник

Технічний редактор *А.І. Лаврінович*

Підп. до друку 0.10.04ормат 60х84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум.фарбовідб. Ум. друк. арк. Обл..-вид. арк..
Тираж прим. Замовлення № 145-1. Вид. № 00II.

Видавництво НАУ
03058, Київ-58, проспект Космонавта Комарова, 1.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002

З М І С Т

ВСТУП 3

1. ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ В АВІАТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ 6

1.1. Джерела і фізико-хімічні характеристики забруднень атмосферного повітря 6

1.2. Забруднення грунтів і водоймищ 18

1.3. Повітряний корабель як джерело забруднення 39

1.4. Теплові, електромагнітні та акустичні забруднення під час експлуатації авіаційної техніки 49

2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТІВ І ВИРОБІВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ 73

2.1. Вплив космодромів на навколишнє природне середовище 73

2.2. Засоби виведення космічних апаратів 104

2.3. Райони падіння частин ракет-носіїв, що відокремлюються 112

2.4. Космічні апарати та їх двигунні установки 113

2.5. Характеристики ракетних палив 122

2.6. Продукти згоряння ракетних палив 141

2.7. Основні конструкційні матеріали ракетно-космічної техніки 156

2.8. Засоби командно-вимірювального комплексу 159

2.9. Космічні системи з ядерними енергетичними установками 161

3. ОСНОВНІ ФАКТОРИ ДІЇ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ 170

3.1. Вплив на довкілля під час передстартової підготовки ракет-носіїв 172

3.2. Забруднення довкілля під час пуску РН і польоту на дільниці виведення 175

3.3. Джерела забруднення довкілля під час роботи розгінних блоків і активного функціонування космічних апаратів 176
3.4. Вхід в атмосферу і падіння елементів, що відділяються, ракет-носіїв і космічних апаратів 177
3.5. Вплив на навколишнє природне середовище ядерних енергетичних установок КА 179
3.6. Фактори впливу на навколишнє середовище аварійних і нештатних ситуацій з РКТ 185
3.7. Фактори впливу на НПС при утилізації (ліквідації) застарілої РКТ 191
3.8. Способи зниження впливу РКТ на НПС 194

4. ДІЯ РКТ НА ПОВЕРХНЮ ЗЕМЛІ **197**

4.1. Хімічне забруднення грунту 197
4.2. Механічне забруднення грунтів 207
4.3. Забруднення поверхневих і ґрунтових вод 209
4.4. Визначення потенційної екологічної стійкості природних комплексів космодромів 212
4.5. Радіоактивне забруднення грунту 217

5. ДІЯ РКТ НА ПРИЗЕМНІ ШАРИ АТМОСФЕРИ, ТРОПОСФЕРУ І НИЖНЮ СТРАТОСФЕРУ **226**

5.1. Утворення продуктів згоряння в зоні розташування стартового комплексу 226
5.2. Випаровування виливів компонентів ракетного палива 228
5.3. Розрахунок атмосферних викидів 231
5.4. Викиди рідких ракетних палив в атмосфері 233
5.5. Електромагнітні забруднення районів експлуатації РКТ 239
5.6. Теплове забруднення в зоні експлуатації РКТ 241
5.7. Джерела акустичного забруднення під час експлуатації РКТ 247
5.8. Радіоактивне забруднення 257
5.9. Випадіння кислотних опадів при експлуатації РКТ .. 263

6. ВПЛИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА ОЗОНОВИЙ ШАР ЗЕМЛІ **266**

6.1. Механізми руйнування озону при запусках ракет 267

6.2. Вплив на озон факела РД і головної ударної хвилі .. 272

6.3. Дія продуктів згоряння ракетних палив на стратосферний озон 274

6.4. Оцінка впливу РКТ на загальне руйнування озону ... 278

7. ДІЇ РКТ НА ІОНОСФЕРУ І ВЕРХНЮ АТМОСФЕРУ ЗЕМЛІ **290**

7.1. Зміни в іоносфері під впливом РКТ 290

7.2. Збурення хвиль в нейтральному газі виробами РКТ 294

7.3. Явища в іоносферній плазмі, викликані дією РКТ 299

7.4. Вплив запуску і функціонування РКТ на поширення радіохвиль 305

7.5. Оптичні явища при експлуатації РКТ 308

7.6. Теоретичні оцінки впливу на іоносферу продуктів згоряння двигунних установок з рідким та твердим паливом 308

7.7. Вплив геліогеофізичних умов при запусках ракет на характеристики іоносфери 318

7.8. Тригерні ефекти в іоносфері під час запуску ракет .. 323

7.9. Вплив запусків ракет на нейтральний склад верхньої атмосфери 326

8. ВПЛИВ РКТ НА НАВКОЛОЗЕМНИЙ ПРОСТІР **331**

8.1. Вплив двигунних установок ракет-носіїв і розгінних блоків 331

8.2. Вплив плазмових ДУ КА 335

8.3. Вплив ядерних енергетичних установок на навколоземний космічний простір 337

9. ПРОБЛЕМА “КОСМІЧНОГО СМІТТЯ” В НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ **344**

9.1. Негативні наслідки освоєння НКП і контроль забруднення 344

9.2. Просторовий розподіл штучних об'єктів в області низьких орбіт 348
9.3. Техногенне забруднення області геостаціонарних орбіт 352
9.4. Характеристики відносного потоку космічних об'єктів і прогноз техногенного забруднення НКП 355

10. АВАРІЙНІ І НЕШТАТНІ СИТУАЦІЇ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РКТ **363**

10.1. Стан, проблеми і основні характеристики ситуацій 363
10.2. Уражаючі фактори вибухів РКТ 367
10.3. Дія вибухів РКТ на НПС 379

11. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЛІКВІДАЦІЇ ЗАСТАРІЛОЇ РКТ **391**

11.1. Можливі способи знищення РКТ 391
11.2. Забруднення поверхні землі і приземного атмосферного шару продуктами підривів РКТ 405
11.3. Забруднення навколишнього середовища при різних способах ліквідації РКТ 408

12. НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧНІ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І КОНТРОЛЬ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РКТ **411**

12.1. Розробка лімітів на природокористування 411
12.2. Забезпечення екологічної безпеки космічної діяльності 419
12.3. Проблеми екологічної безпеки РКТ на етапі створення 424
12.4. Забезпечення і контроль екологічної безпеки РКТ на етапі експлуатації 431
12.5. Екологічна безпека РКТ на етапі утилізації 439
12.6. Особливості правового забезпечення екологічної безпеки на космодромі "Байконур" 442

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 446

ВСТУП

Діяльність, пов'язана із створенням і використанням авіаційного транспорту (АТ), ракетно-космічної техніки (РКТ) в сучасних умовах найважливіша сфера застосування інтелектуальних та технічних можливостей людства в інтересах вирішення оборонних, народногосподарських і наукових проблем, одна з найважливіших складових науково-технічного прогресу.

Однак негативними наслідками сучасної науково-технічної революції стали пряма і побічна дія на навколишнє природне середовище (НПС), зменшення запасів сировинних та енергетичних ресурсів, негативний вплив на здоров'я людини тощо.

Із збільшенням інтенсивності руху АТ та експлуатації РКТ прийшло розуміння того, що така техніка суттєво впливає на НПС, причому не тільки в районах функціонування аеродромів та космодромів, але й в значно більших просторово-часових масштабах. Щодо РКТ, то принципова відміна РКТ від інших: вона діє практично на всі геосфери Землі, від поверхні Землі до геостаціонарних орбіт, а сам вплив на НПС надзвичайно різноманітний – акустичний, тепловий, механічний, хімічний, електромагнітний, радіоактивний. Очевидно, що деякі з вказаних типів дії взаємопов'язані між собою і їхній вклад в загальне збурення НПС залежить, наприклад, від конструкції виробів (ракета-носій, розгінний блок, космічний апарат), від висоти його польоту, умов функціонування техніки, аварійних ситуацій, від технології експлуатації РКТ [1].

Комплексному аналізу дії АТ та РКТ велику увагу приділяють міжнародні організації.

Так, Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО) розробила проект міжнародних норм на емісію із авіаційних двигунів та шум сучасного авіаційного транспорту (Додаток 16 "Охорона навколишнього середовища" стандарту ІКАО). Відповідно до завдання Організації Об'єднаних Націй проводяться дослідження впливу РКТ на НПС Комітетом з досліджень космічного простору (КОСПАР), Міжнародною радою наукових спілок (МРНС) та Міжнародною астронавтичною федерацією (МАФ).

В Російській Федерації була розроблена комплексна програма щодо зниження шкідливої дії РКТ на НПС (програма "ЕКОС", затверджена Державною Військово-промисловою комісією в 1990 р.), яка постійно уточнюється і вдосконалюється з врахуванням останніх досягнень з

проблеми і розвитку загального екологічного законодавства РФ. В тактико-технічні завдання на модернізацію або розробку будь-яких нових зразків РКТ включаються вимоги щодо оцінки їхньої дії на НПС, екологічної безпеки та екологічної експертизи виробів.

Результати досліджень дії АТ і РКТ на НПС свідчать, що проблема шкідливого впливу експлуатації АТ та функціонування РКТ дійсно існує; деякі з наслідків цієї господарської діяльності вже зараз викликають серйозну стурбованість на регіональному та глобальному рівнях (енергетичні та хімічні забруднення під час експлуатації та поточного ремонту АТ в районі аеродромів та авіаремонтних заводів, механічні та хімічні забруднення районів падіння частин РКТ, що відділяються, ефекти вибухів РКТ, забруднення космодромів, механічне забруднення навколоземного космічного простору – "космічне сміття").

Проблема в цілому та окремі її частини вимагають постійної уваги, оскільки негативні наслідки можуть вийти за допустимі рамки і набути катастрофічного характеру, тому треба зробити більш жорсткими екологічні вимоги до АТ і РКТ.

В навчальній дисципліні "Екологія, авіація і космос" вперше з єдиних методологічних та теоретичних позицій розглядаються екологічні проблеми дії АТ і РКТ на НПС з врахуванням реальних принципів експлуатації АТ і функціонування РКТ, сучасного рівня розвитку досліджень і залучення накопичених на цей час експериментальних даних [2].

Метою вивчення дисципліни "Екологія, авіація і космос" є надання майбутнім фахівцям теоретичних знань та практичних навиків для вирішення проблем екологічної безпеки експлуатації, обслуговування і поточного ремонту авіаційної техніки та складових ракетно-космічної техніки.

Основними задачами вивчення дисципліни "Екологія, авіація і космос" є:

– вивчення закономірностей взаємодії авіатранспортних процесів, ракетно-космічних систем з навколишнім природним середовищем;

– визначення пріоритетних напрямків забезпечення екологічної безпеки в авіатранспортних процесах та під час експлуатації ракетно-космічних систем;

– формування у майбутніх фахівців сучасного уявлення про суть і найбільш ефективні шляхи виконання екологічних вимог до авіаційної та ракетно-космічної техніки.

– Стратегічними цілями в області забезпечення екологічної і техногенної безпеки авіатранспортних процесів і функціонування ракетно-космічних комплексів є:

– підтримка сприятливого для здоров'я екологічно безпечного середовища для забезпечення фізичного, психологічного та соціального благополуччя населення;

– забезпечення раціонального природокористування в інтересах ефективного і стійкого соціально-економічного розвитку країни;

– збалансованість процесів відтворення і використання відновлюваних природних ресурсів, а також раціональне використання не відновлюваних ресурсів з широким залученням в господарську діяльність відходів виробництва;

– збереження біосферної рівноваги на локальному, регіональному та глобальному рівнях;

– збереження генетичного фонду, видової та ландшафтної різноманітності дикої природи, ландшафтно-архітектурних особливостей сільської місцевості та міських систем.

У зв'язку з інтенсифікацією діяльності цивільної авіації, експлуатації військової авіаційної техніки, ракетно-космічних комплексів загострилися проблеми охорони навколишнього природного середовища від матеріальних та енергетичних забруднень, від прямого впливу цих процесів на стан НПС.

1. ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ В АВІАТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ

Збільшення об'ємів авіаперевезень, площ оброблюваних з літаків сільськогосподарських угідь, інтенсивності процесів експлуатації та поточного ремонту авіаційної техніки викликає практично пропорційний ріст забруднень, якщо не приймаються спеціальні заходи щодо обмеження цих забруднень. Склад забруднень навколишнього середовища при авіатранспортних процесах надзвичайно різноманітний.

1.1. Джерела і фізико-хімічні характеристики забруднень атмосферного повітря

Основними джерелами забруднення НПС серед авіапідприємств є аеропорти з приписаною до них технікою.

Наземні джерела забруднення можна умовно поділити на такі, що знаходяться всередині аеропорту (або авіаремзаводу), і ті, що розташовані за межами аеропорту (або авіаремзаводу). До останніх належать, насамперед, установки теплоенергетики, які працюють на різних видах місцевого палива, тому й характер забруднень визначається видом палива, способами його спалювання і шляхами відведення викидів.

До основних шкідливих речовин, які містяться в димових газах теплоенергетичних установок відносяться діоксид сірки SO_2, оксид вуглецю CO, оксиди азоту NO_x, тверді частки вуглецю (сажі).

Однією з найважливіших умов мінімальних викидів шкідливих речовин із теплоенергетичних установок є вибір режиму спалювання палива, при якому досягається повне його згоряння.

До внутріпортових (внутрізаводських джерел) забруднень НПС відносяться вентиляційні системи, які застосовуються на окремих дільницях обслуговування авіаційної техніки чи авіаремонтних заводів. При необхідності, коли повітря від робочих місць, що видаляється, містить шкідливі речовини у великих кількостях, перед викидом в атмосферу воно очищується в пиловловлюючих і газоочисних установках.

В атмосферне повітря із виробничих приміщень аеропорту чи авіаремзаводу надходять пари нафтопродуктів, розчинників, лакофарбувальних матеріалів, лугів, кислот, аерозолі водних розчинів їдкого, вуглекислого і фосфорнокислого натрію, сірчистого ангідриду, оксидів азоту, окису вуглецю, пилу.

Кількість шкідливих речовин, що надходять в атмосферне повітря з виробничих приміщень аеропорту чи авіаремзаводу через вентиляційні системи, може перевищувати гранично допустимі значення, які спричиняють перевищення допустимих концентрацій (ГДК) цих шкідливих речовин. Особливо це може мати місце при груповому розташуванні вентиляційних шахт, коли виникає ефект сумації шкідливих викидів і навіть утворення нових шкідливих речовин більшої токсичності [3].

Склади пально-мастильних матеріалів (ПММ) забруднюють атмосферне повітря на території аеропорту авіапаливом, змащувальними

матеріалами і спецрідинами. В атмосферу пари авіапалива надходять: при витискуванні їх із резервуарів, паливозаправників (ПЗ) і баків повітряних кораблів (ПК) в процесі наповнення їх паливом, в процесі “малого дихання” резервуарів, а також при випаровуванні розлитого палива крізь нещільності з’єднань або недотримання правил заправки ПК, зберігання, транспортування і наповнення ємкостей пально-мастильними матеріалами.

При наповненні ємкості разом з одним м.куб. повітря витісняється в середньому 0,015 $м^3$ насичених парів палива густиною 10 $кг/м^3$. Це означає, що при наповненні паливозаправника, наприклад, ТЗ-22, в атмосферне повітря витісняється до 3 кг легких фракцій палива. При добовому споживанні повітряними кораблями палива в об’ємі 1000 $м^3$ викиди його у вигляді парів в повітря аеропорту можуть досягти 450 кг, що призведе до забруднення біля $3 \cdot 10^8$ $м^3$ повітря (при середньодобовій ГДК бензину 1,5 $мг/м^3$).

Суть “малого дихання” резервуарів полягає в тому, що при підвищенні температури зовнішнього повітря насичені пари палива і саме паливо всередині резервуару нагріваються, розширюються, пари палива витісняються з нього через дихальні клапани (інакше резервуар буде деформуватися), а в нічний час при зниженні температури пари палива стискуються, конденсуються, що сприяє надходженню в резервуар зовнішнього повітря. При “малому диханні” резервуара об’ємом 5000 $м^3$ щодоби в атмосферне повітря витісняється до 100 кг бензину.

Суттєво впливає на НПС авіаційна наземна техніка [4], до якої відносяться спеціальні технічні наземні засоби для обслуговування авіаційної техніки, повітряних перевезень та утримування аеродромів.

Спецмашини авіапідприємств – спецавтотранспорт забруднюють атмосферне повітря переважно оксидами вуглецю CO, вуглеводнями C_xH_y, оксидами азоту NO_x. Спецавтотранспорт, який використовується в аеропорту, можна поділити на чотири групи (табл.1.1 – для груп I, II; табл.1.2 – для групи III; табл.1.3 – для групи IУ).

Таблиця 1.1

Найменування і тип засобу	Тип новного вигуна	Норми витрат палива	
		роботи двигуна q, л/год	а 100 км у $q_ш$, л/100км
Група I	Дизельний	22,5	46,0

Тягач (аеродромний) КрАЗ-255 Б	_ “ _	30,0	131,0
Тягач (аеродромний) БелАЗ-6411	_ “ _	32,0	162,0
Тягач (аеродромний) БелАЗ-7421	Бензиновий	–	28,6
Повітрозаправник ВЗ-20-350			
Група II	_ “ _	–	–
Водозаправник (аеродромний) МВ-1	_ “ _	13,0	34,8
Асенізаційна машина (аеродромна) АС-161 (АС-154)	_ “ _	6,0	32,2
Маслозаправник (аеродромний) МЗ-66	_ “ _	14,0	47,3
Киснезаправник (аеродромний) УГЕСМ-К-131	_ “ _	13,0	34,8
Киснезаправник (аеродромний) АКЗС-75	_ “ _	–	–
Маслозаправник (аеродромний) ЕСЖ66			

Таблиця 1.2

Наймену-вання і тип засобу	Тип го двигуна	Тип -кового гуна	Норми витрат палива		Умовна ата палива км $q_ш$ умов. /100 км
			д роботи а q, л/год	на 100 км пробігу $q_ш$, л/100 км	
Установка перевірки гідросистем	иновий	-	0,0	47,3	37,0
Кондиціонер (аеродромний) АК-1,1	“ - ельний	Бензиновий	-	-	37,6
Підйомник (авіаційний) К-162		-	9,0	45,0	41,1
Підйомна площадка	иновий “ -	-	3,0	67,7	29,7

(аеродромна)					
Електроагре-гат (аеродромний)	“ -	-	20	67,7	39,4
АПА-5		-	8	47,3	-
Електроагре-гат аеродромний)	“ -				
АПА-50М		-	8	34,0	-
Електроагре-гат (аеродромний) АПА-35-2М					

Таблиця 1.3

Закінчення табл. 1.3

йменування тип засобу	Тип основ-ного двигуна	ип кового гуна	Норми витрати палива		при спалюванні-гасу (бензину)		
			од роботи а q, л/год	км пробігу $q_ш$, 00 км		$Ц_у$	х
Підігрівник (аеродромний) МПМ-85 к	ічіп	овий	13,0	–	2	5	2
Підігрівник (аеродромний) АП ”Север”	“	“	–	–	“	“	“
Підігрівник (аеродромний) УПВ-1	“	“	–	–	“	“	“
Підігрівник (аеродромний) портативний ПП-85	“	-новий овий	–	–	“	“	“
Підігрівник (аеродромний) моторний МП-300	новий “	“	25/35*	23,5	5	4	2
Підігрівник (аеродромний) уніфікований УМП-350-131	“	“	0/50*	47,3	“	“	“
Машина для нанесення атиобліднювал		“	–	–		3	4

йменування тип засобу	Тип основ-ного двигуна	ип кового гуна	Норми витрати палива		при спалюванні гасу (бензину)		
			од роботи на q, л/год	км пробігу $q_ш$, 00 км	)	H_y	x
них рідин УПМ	– “						
Установка повітряного запуску авіадвигунів УВЗ-2	ичіп	– “	5/240*	–	“	“	“
Установка повітряного запуску УВЗ-3			–	–	“	“	“

Примітка: * - в чисельнику норма витрати бензину, в знаменнику – гасу.

Методика розрахунку викидів шкідливих речовин в атмосферу від автомобільних двигунів засобів технічного обслуговування літаків і теплових спецмашин в умовах експлуатації дозволяє визначити викиди CO, C_xH_y та NO_x при відомому кілометровому пробігу засобу витрати палива, які залежать від терміну служби, природно-кліматичних умов, режиму роботи та умов експлуатації, а також технічного стану автомобілів. Сумарний викид *i*-го компонента (CO, C_xH_y, NO_x) *j*-тим засобом за час τ (за рік) M_i^τ (кг/рік) можна визначити за допомогою виразу:

$$M_i^\tau = \sum_{j=1}^{n} (k_{1i} k_{2i} k_{3i} k_{4i} k_{5i} m_i L_j) / 1000, \qquad (1.1)$$

де n – число *j*-тих засобів в авіапідприємстві; m_i – пробіговий викид шкідливої речовини (г/км); L_j – дійсний (або приведений) пробіг *j*-го

засобу (км/рік); k_{1i}, k_{2i}, k_{3i}, k_{4i}, k_{5i} – коефіцієнти впливу на викид шкідливої речовини відповідно віку парку, середньорічної температури повітря, середнього атмосферного тиску, середньорічної вологості повітря, рівня технічного стану автомобілів; k_{1i} визначається за графіками на рис.1.1 в залежності від середнього віку парку $\tau_{1ср}$ для групи автомобілів або двигунів, що розглядаються.

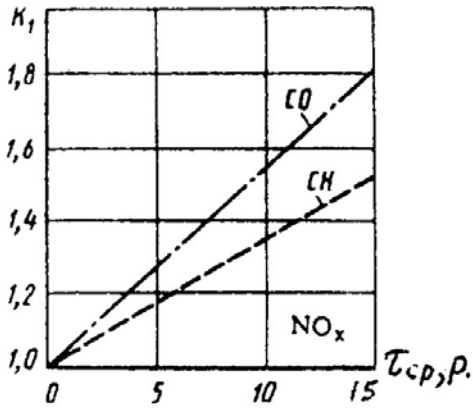
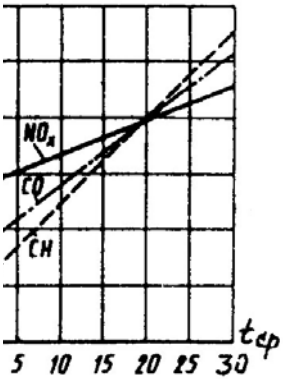


Рис.1.1. Коефіцієнт впливу віку парку

Середній вік парку розраховується за формулою:

$$\tau_{1cp} = \sum_{i=1}^{n} (m\tau_{1i}) / E_{ni}, \qquad (1.2)$$

де E_{ni} – сумарна кількість автозасобів групи, що розглядається; τ_{1i} – вік одиниці засобу одного типу (марки, моделі) в роках, визначається різницею між роком розрахунку викидів і роком випуску засобу; m – кількість засобів даного типу (марки, моделі) k_{2i}, k_{3i} та k_{4i} визначаються відповідно за допомогою графіків на рис.1.2–1.4; k_{5i} характеризує рівень контролю автозасобів на токсичність і визначається за графіками на рис.1.5 в залежності від рівня T_c технічного стану автозасобу. В тих випадках коли автозасоби групи, що розглядається, проходять не менше одного разу на добу контроль на токсичність за трьома забруднювачами атмосферного повітря і не випускаються з парку при перевищенні токсичності, $T_c = 0$. При цьому $k_{5CO} = k_{5CxHy} = k_{5NOx} = 1$.



Коефіцієнт впливу
редньорічної
ıператури повітря

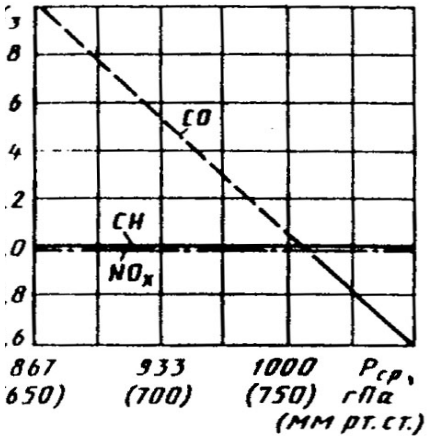


Рис.1.3. Коефіцієнт впливу середнього атмосферного тиску

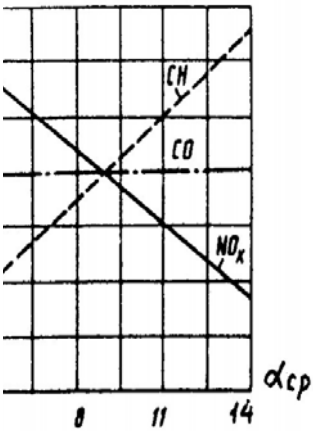


Рис.1.4. Коефіцієнт впливу середньорічної вологості повітря

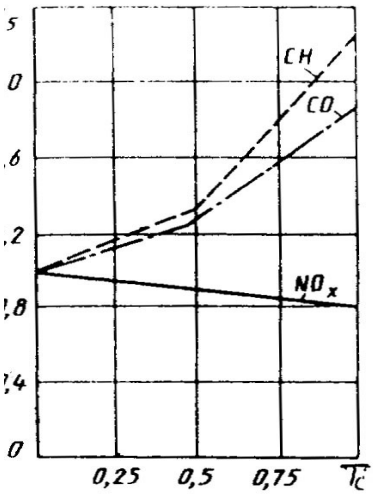


Рис.1.5. Коефіцієнт впливу рівня технічного стану автомобілів

Якщо ж автозасоби певної групи проходять контроль на токсичність і відповідне регулювання двигунів тільки при другому технічному

обслуговуванні (ТО-2), то $T_c = 0,5$. Тоді за графіками на рис.1.5 можна визначити $k_{5CO} = 1,25$; $k_{5CxHy} = 1,3$; $k_{5NOx} = 0,9$. При відсутності в авіапідприємстві контролю на токсичність в процесі експлуатації $T_c = 1$, а $k_{5CO} = k_{5CxHy} = k_{5NOx} = 0,8$.

Пробіговий викид m_i шкідливих викидів m_{CO}, m_{CxHy}, m_{NOx} визначається за графіками на рис. 1.6 в залежності від року випуску автозасобів окремо з бензиновими і з дизельними двигунами. Для спрощення розрахунків пробіговий викид визначається для умовного середнього автомобіля, рік випуску якого знаходиться відніманням з року, для якого проводиться розрахунок середнього віку парку автомобілів даної групи, $\tau_{1ср.}$

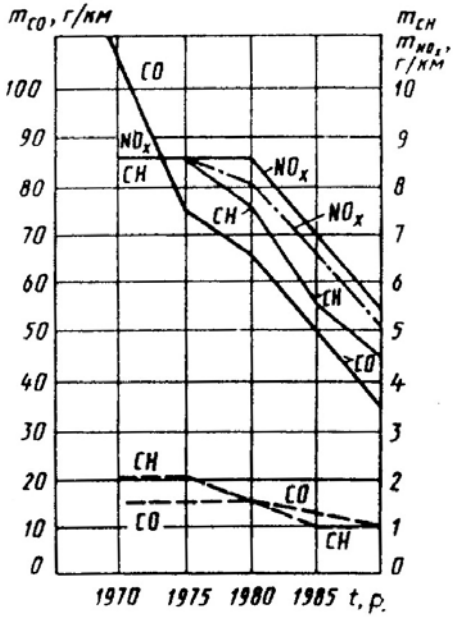


Рис.1.6. Пробіговий викид шкідливих речовин вантажівками

Значення річного пробігу L_i визначається для різних груп засобів автотранспорту наступним чином:

Для групи I засобів ТО повітряних кораблів розрахункове значення річного пробігу визначається за формулою:

$$L_i = L_{iq} k'_{6i}, \tag{1.3}$$

де L_{iq} – фактичний пробіг всіх засобів даного типу за рік (км/рік), приймається за даними авіапідприємства; k'_{6i} – коефіцієнт впливу середньо- технічної швидкості руху засобу на викид шкідливих речовин. Враховуючи допустиму швидкість руху автозасобів на території авіапідприємства з повним навантаженням, приймається для викидів CO – $k'_{6CO} = 0,9$; C_xH_y – $k'_{6CxHy} = 0,95$; NO_x – $k'_{6NOx} = 1$.

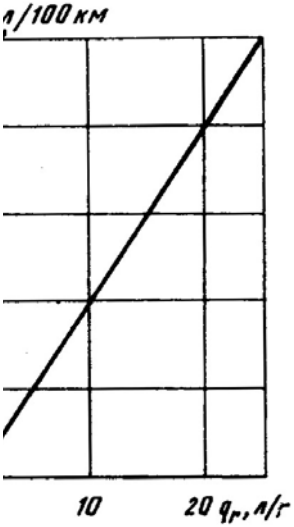
Для засобів груп II і III значення річного пробігу є приведеним (L_{in}), яке враховує привід спеціального обладнання, встановленого на цьому засобі. L_{in} розраховується за формулою:

$$L_{in} = L_{iq} k'_{6i} + L_{i\ умов} k''_{6i}, \tag{1.4}$$

де $k''_{бi}$, виходячи з допустимої швидкості руху автозасобу на території авіапідприємства з повним навантаженням, приймається для викидів CO – $k''_{бCO} = 1{,}2$; C_xH_y – $k''_{бCxHy} = 1{,}25$; NO_x – $k''_{бNOx} = 1{,}0$;
$L_{i\,умов}$ – умовний річний пробіг, який був би у засобів груп II і III, якби витрати палива на привід спеціального обладнання були використані на переміщення цього засобу територією авіапідприємства з допустимим середньо технічним і повним навантаженням (км). $L_{i\,умов}$ розраховується за формулою:

$$L_{i\,умов} = \frac{100 Q_{i\Sigma}}{q_{умов}}, \qquad (1.5)$$

де $Q_{i\Sigma}$ – сумарні річні витрати палива всіма засобами даного типу автотранспорту (марки, моделі), л/рік; $q_{умов}$ – умовні витрати палива на 100 км пробігу (л/100 км). Для засобів групи III $q_{умов}$ знаходиться в графі 6 табл.1.2, для засобів групи II – за графіком на рис.1.7 в залежності від годинних витрат $q_г$ палива засобами при ТО повітряних кораблів.



Залежність умовних (на) км пробігу) витрат палива годинних витрат палива собами II групи ТО літаків

Годинні витрати палива при ТО повітряних кораблів засобом групи II визначаються за формулою:

$$q_г = (Q_{i\Sigma} - 0{,}01 q_n L_{iq}) / \tau_\Sigma, \qquad (1.6)$$

де q_n – норма витрат палива конкретним засобом на 100 км пробігу, знаходиться в графі 4 табл.1.1, л/100 км; τ_Σ – сумарний період роботи всіх засобів даного типу (марки, моделі) за рік (год/рік).

Для засобів групи IУ кількість викидів шкідливих речовин M_j (кг/рік) розраховується за формулою:

$$M_j = (B_j\, Q_{i\Sigma})/1000, \qquad (1.7)$$

де B_j – кількість викидів конкретної шкідливої речовини двигуном при спалюванні 1 л палива, знаходиться в графах 6, 7, 8 табл.1.3 (г/л). Розрахунок викидів від установок повітряного запуску типу УВЗ-2 здійснюється, як для засобів групи I, від підігрівників повітря типу УМП-350-131 (МП-300) і від антиобліднювальних машин типу УПМ (з підйомною платформою), так і для засобів II групи.

Забруднення атмосферного повітря не тільки прямо впливають на здоров'я живих організмів, але й посередньо, змінюючи структуру, склад і навіть будову атмосфери, яка в новій якості впливає вже глобально на життєдіяльність людини, а також на рослинний і тваринний світ планети.

Діоксид сірки (SO_2) є найбільш поширеним забруднювачем атмосфери. Він утворюється при спалюванні в транспортних і промислових установках вугілля, мазуту, нафти та інших видів палива, що містять сірку, і з продуктами згоряння викидається в атмосферне повітря. Це безбарвний газ з різким запахом, який при температурі +10°С згущається в рідину. Він подразнює дихальні шляхи, викликаючи спазм бронхів. При утворенні густого туману (смогу) з діоксиду сірки вплив його різко збільшується. Загальна дія його проявляється в порушенні вуглеводневого та білкового обмінів, пригніченні окислювальних процесів в головному мозку, печінці, селезінці, м'язах. При сумісній дії з оксидом вуглецю токсичність діоксиду сірки зростає.

Якщо діоксид сірки викидається у вологе повітря, то в присутності продуктів фотохімічних реакцій за декілька годин він з вологою в повітрі утворює поряд з проміжними продуктами окислення водний розчин сірчаної кислоти, агресивність якої досить велика. Якщо діоксид сірки викидається в сухе повітря, він може там утримуватися 2–3 тижні і переноситися на висотах до 1,5 км на великі відстані – до 300–400 км, поступово утворюючи сірчану кислоту. Діоксид сірки, сірчана кислота та проміжні продукти їхньої реакції врешті вимиваються дощем, переходять в сульфати і потрапляють в грунт. Із історії моніторингу відомі факти випадіння "надто сірчистих" дощів у країнах Скандинавії, в той час як джерелом забруднення при цьому були промислові підприємства Англії або Західної Європи.

При вимиванні з атмосфери цих шкідливих сполук так звані "кислотні" дощі, що утворюються при цьому, знижують родючість грунту та ефективність застосування мінеральних добрив на орних землях, негативно впливають на довгорічні трави сінокосів і пасовищ, вражають деревні рослини, особливо дуб, липу, ялину, руйнують хлорофіл в листях.

Це призводить до уповільнення росту і зниження врожайності сільськогосподарських насаджень.

Діоксид сірки є причиною передчасної корозії металів, зниження стійкості лакофарбувальних покрить, руйнування, забруднення і потемніння через окислення облицювання будівель і споруд, зниження міцності і довговічності металічних конструкцій, особливо з алюмінію, який піддається корозії і руйнується в містах в 100 разів швидше, ніж в сільській місцевості.

Оксид вуглецю сірки (CO) – безбарвний газ, що утворюється при неповному згорянні вуглеводню. Його токсична дія проявляється в здатності легко вступати в реакцію із гемоглобіном крові, утворюючи карбоксигемоглобін. Кров з низьким гемоглобіном не здатна забезпечувати киснем тканини організму людини; настає кисневе голодування, задуха, запаморочення і навіть смерть. Оксид вуглецю спричинює розлад серцево-судинної системи, а також сприяє розвитку атеросклерозу. За концентрації CO понад 1 % він негативно впливає на рослини, тварин і людину, понад 4 % - спричинює смерть (отруєння чадним газом).

Оксиди азоту викликають подразнюючу дію, особливо слизової оболонки очей, здатні проникати в легені, викликаючи ураження бронхів. До оксидів азоту відносяться: NO, N_2O_3, NO_2, N_2O_4. При певних умовах може утворюватися N_2O. Проникаючи в кров, оксиди азоту здійснюють наркотичну дію на центральну нервову систему, викликають дегенеративні зміни міокарда.

Оксиди азоту – один із головних компонентів, що сприяють утворенню фотохімічного туману; потрапляючи у верхні шари атмосфери, сприяють руйнуванню озонового шару.

Вуглеводні (C_xH_y) – основний компонент рідких і газоподібних палив. Авіаційні палива – бензин, гас – різняться між собою вмістом парафінових, нафтових та ароматичних вуглеводнів, а також сполук сірки.

Більшість вуглеводнів має виражену токсичну дію, особливо при вдиханні парів. Вони викликають головний біль, запаморочення, нудоту, подразнення слизових оболонок. На ранніх стадіях отруєння спостерігається також зниження кров’яного тиску, уповільнення пульсу, млявість. В більш важких випадках мають місце клінічні судоми, послаблення дихання, розширення зіниць, порушення з боку серцево-судинної системи. Бензин, крім того, чинить наркотичну дію на організм людини.

Вуглеводні є джерелами забруднень НПС канцерогенними речовинами – хімічними сполуками, здатними при дії на організм людини викликати ракові захворювання та інші злоякісні чи доброякісні новоутворення. Відомо кілька сотень канцерогенних речовин, які належать до різних класів хімічних сполук.

До найбільш сильних відносяться деякі поліциклічні вуглеводні, що містять групу фенатрену в молекулі, азофарбники, ароматичні аміни, нітрозаміни, алкілуючі сполуки, які є продуктами викиду хімічної та нафтохімічної промисловості, і бенз(α)пірен, який міститься в газах авто- і авіадвигунів, що відпрацювали. Найбільш небезпечний для людини – бенз(α)пірен, оскільки він викидається безпосередньо в приземний шар, тобто на рівні органів дихання людини. Небезпека дії канцерогенної речовини залежить від дози і періоду її дії. Накопичення канцерогенної речовини в окремих органах людини підсилює її дію. Пухлини виникають не зразу після початку дії канцерогенної речовини, а лише через тривалий час – 15–20 років (для мишей цей термін складає всього 4–6 місяців. Багато канцерогенних речовин можуть викликати також стійкі спадкові зміни – мутації.

Головними і ефективними шляхами боротьби із забрудненням НПС канцерогенними речовинами є: виявлення сполук, які мають канцерогенну дію; уловлювання канцерогенних речовин із викидів; попередження попадання в харчові продукти і питну воду; усунення із сфери життєдіяльності людини.

Забруднюють атмосферу тверді викиди – незгорілі частки твердого палива, сажа та аерозолі мінералізованої частини палива. Їх шкідлива дія виявляється, насамперед, в ураженні верхніх дихальних шляхів, легенів, слизових оболонок очей, носоглотки, ротової порожнини.

Крупні фракції твердих часток швидко осідають, а фракції діаметром менше 10 мкм здатні утримуватись в атмосфері до трьох тижнів, знижуючи прозорість атмосфери, погіршуючи видимість, збільшуючи число днів з сильним серпанком, що, в свою чергу, призводить до зменшення ультрафіолетової радіації Сонця, зміни мікроклімату в містах і регіонах з забрудненою атмосферою.

Підприємства хімічної промисловості, деякі виробничі дільниці технічного обслуговування та поточного ремонту авіаційної техніки викидають в атмосферне повітря нові сполуки, яких в природі раніше не існувало. Зростає кількість викидів важких металів та їхніх сполук –

свинцю, міді, хрому, берилію, кобальту, миш'яку. Попадання таких речовин в організм людини небезпечне для її здоров'я, оскільки по-перше, в процесі еволюції організм людини не набув захисних функцій від дії цих речовин, а по-друге, вони можуть накопичуватися в організмі людини і поступово руйнувати його, викликаючи важкі захворювання тих чи інших органів.

1.2. Забруднення грунтів та водоймищ

1.2.1. *Джерела і фізико-хімічні характеристики забруднень*

Виробнича діяльність авіапідприємств сприяє забрудненню грунтів і водоймищ виробничими та господарсько-побутовими стічними водами, що містять різні механічні, фізичні та хімічні домішки.

Забруднення грунту відбувається також в результаті осідання із повітряного басейну на поверхню грунту забруднюючих речовин, які надходять в атмосферу з газами, що відпрацювали, літаків, наземної авіаційної техніки і топок котельних.

Джерелами виробничих стічних вод в аеропортах є будівлі і споруди технічного обслуговування літаків (авіаційно-технічні бази, допоміжні виробництва та ін.), а також будівлі і споруди підсобних приміщень (склади технічного майна, автобази, пожежні депо, котельні тощо).

Основні джерела господарсько-побутових стічних вод – будівлі і споруди для обслуговування перевезень – аеровокзал, готелі, їдальні, служби бортхарчування, а також території авіамістечок, що прилягають до аеропортів. Джерелом забруднення водойм авіапідприємств є поверхневий стік. Формуючись за рахунок дощових і талих снігових вод, а також води при вологому прибиранні приміщень із штучним покриттям, поверхневий стік з території аеропорту акумулює в собі різні забруднюючі речовини: залишки миючих, дезинфікуючих, антиобліднювальних і протиожеледкових реагентів, продукти руйнування штучних покрить і стирань ними шасі літаків та наземної техніки, відходи нафтопродуктів тощо.

До основних джерел забруднень поверхневого стоку відносяться території авіаційно-технічних баз, площадки для доводочних робіт, мийки та антиобліднювальної обробки літаків, перон і привокзальна площа, приміщення служб ПММ та ін.

Склад стічних вод, які скидаються, тісно пов'язаний з видами виробничої діяльності, вихідної сировини і різних додаткових продуктів,

що приймають участь у технологічному процесі, а також залежить від ходу цих процесів, виду і досконалості виробничої апаратури і т.п. Склад стічних вод різноманітний і навіть для одного й того ж виробництва змінюється в великому діапазоні.

В стічних водах виробничих дільниць аеропортів та інших авіапідприємств містяться бензол, ацетон, нафтопродукти, кислоти, луги, розчинені різні сполуки металів – алюмінію, міді, берилію, хрому тощо, також інші забруднюючі речовини. Для поверхневого стоку з території аеропортів характерна присутність мінеральних суспензій, нафтопродуктів, розчинених органічних сумішей та речовин, що містять азот.

Основним джерелом забруднення грунтів важкими металами і хлорорганічними пестицидами при виконанні виробничих і транспортних процесів в цивільній авіації поряд із стічними водами є надходження забруднюючих речовин із атмосфери на поверхню грунту. Найбільш поширений і токсичний забруднювач в районі аеропорту – свинець, що надходить із атмосферного повітря внаслідок осідання і вимивання опадами і утворюється при згорянні автомобільного палива. При згорянні свинець утворює дрібні частки з медіанним розміром менше 0,5 мкм. Такі аерозолі можуть переноситись на великі відстані, однак значна їх частина осідає на рослинах і грунті аеропорту.

Менша кількість свинцю утворюється при спалюванні інших видів палива. Відомо, наприклад, що концентрація свинцю в кам’яному вугіллі складає 25 мкг/кг. Середня концентрація свинцю в грунтах, які не піддаються інтенсивній антропогенній діяльності, вважається рівною 16000 мкг/кг (фоновий рівень). В верхніх шарах грунту поблизу аеропорту концентрація свинцю складає за різними оцінками від 60000 до 550000 мкг/кг, досягаючи в окремих випадках і більш високих показників. Разом з тим необхідно відмітити, що забруднення грунтів свинцем в районі аеропортів є локальним, концентрація його швидко зменшується з відстанню від джерела забруднення, а також залежить від класу аеропорту і рози вітрів.

Виробничі та господарсько-побутові стоки змінюють кількість і якість води в них, ускладнюють або зовсім виключають можливість використання водойм для пиття або для виробничо-технічних процесів, потреб рибного і сільського господарства, для спортивно-культурних і санітарно-оздоровчих заходів.

Ступінь впливу стічних вод на водойми залежить від характеру забруднювачів, які скидаються, їх кількісних співвідношень. Сама по собі нерозведена вода завжди має виражений токсичний ефект. Забруднення водойм завдає великих збитків народному господарству не тільки через неможливість використання води для виробничих і побутових цілей, а й через те, що серед домішок, які містяться в виробничих відходах можуть знаходитися цінні матеріали.

Природна вода, забруднена виробничими і господарсько-побутовими стоками, стає непридатною для водопостачання населення головним чином тому, що вміст в ній багатьох забруднювачів негативно впливає на здоров'я людей і може стати причиною виникнення різних інфекційних захворювань. Особливо небезпечними в цьому відношенні є знезаражені господарсько-побутові стоки, оскільки в водному середовищі хвороботворні бактерії живуть і зберігають свою життєздатність порівняно довго (до 400 діб).

Хімічні домішки, що надходять з виробничими стоками, можуть знаходитися в водних об'єктах в порівняно малих кількостях. Але навіть невелике збільшення їх концентрації може заподіяти велику шкоду живим організмам. Так, для здоров'я людини надзвичайно важливим є строго визначена кількість фтору в питній воді, яка не повинна перевищувати 1,5 мг/л. Інакше пошкоджується зубна емаль, а при великій концентрації спостерігається пошкодження кісток (флюороза). Потрапляючи в організм людини з питною водою, переважна більшість металів та їхніх сполук, наприклад, свинець, миш'як, кадмій, цинк, мідь, ртуть, що містяться в стічних водах підприємств, можуть викликати отруєння, переважно хронічне. Деякі важкі метали, наприклад, ртуть, можна вважати постійними забруднювачами, оскільки потрапивши одного разу в навколишнє природне середовище, вони, не розкладаючись, переходять із повітря в воду, в водні організми, в їжу людей, і цілі цикли продовжуються нескінченно.

Деякі важкі метали, такі, як молібден, лантан, галій, германій менше небезпечні, однак діючи сумісно з іншими більш шкідливими забруднюючими речовинами, які містяться в стічних водах, можуть підсилювати їх реакцію при надходженні в організм людини з питною водою або продуктами харчування. Токсична дія багатьох металів зростає через вплив їх фізико-хімічних властивостей (наприклад, розчинності в воді), кумулятивної дії деяких з них (наприклад, свинцю) на живий організм, а також особливостей водойми, куди вони надходять

(температури води, вмісту в ній кисню, розчинних мінеральних солей, водневого показника pH, твердості).

Кумулятивна дія отруйних металів на людину проявляється після накопичення їх в організмі і раптового надходження в кров і тканини. При цьому спостерігаються симптоми гострого чи хронічного отруєння. Здатність до кумуляції металів мають грунти і рослини при поливанні їх виробничими стічними водами. Надходження в організм людини таких отрут з питною водою, рибою, овочами створює загрозу їхнього накопичення і кумулятивної дії. Такі властивості мають селен, літій, хром, свинець, цинк, мідь, кобальт, вольфрам, хром, миш'як, кадмій та ін.

Підвищені концентрації хімічних елементів викликають токсичну дію на водні організми. Гідробіонти в тій чи іншій мірі реагують на зміну гідрохімічного режиму водойми, яка відбулася в результаті спуску стічних вод. Якщо той чи інший організм не може адаптуватися до нового хімічного складу води і гине, то відбувається зміна у співвідношенні між видами в біоценозах. Такі зміни можуть також знизити плодючість у гідробіонтів, зменшити їхню життєздатність і стати фактором, який обмежує розвиток і чисельність водних організмів. Так, кислі води при водневому показнику pH = 6,4–5,0 небезпечні для риб при концентраціях вуглекислого газу понад 20 мг/л або при підвищеному вмісту солей заліза; кислі води при pH< 5,0 й лужні при pH > 9,5 завжди небезпечні для риб. При pH< 4,5 можуть загинути всі живі організми в водоймі.

Забруднена хімічними речовинами вода навіть при великому розведенні її чистою порушує нормальний розвиток заплідненої ікри, швидко знищує зародок. Забруднення водойм поряд з фактами прямої загибелі риби наносить рибним запасам шкоду і в іншому відношенні: гине їжа – дрібні безхребетні тварини, якими живиться риба.

Особливу шкоду наносять водоймам нафта і нафтопродукти. Забруднення нафтопродуктами стічних вод, що особливо характерно для аеропортів, викликає різноманітні і глибокі зміни в складі водних біоценозів і навіть у всій фауні і флорі водойм. Це зумовлено фізико-хімічними властивостями самої нафти, яка надзвичайно різноманітна за складом і може віддавати в воду речовини в різних агрегатних станах: твердому, рідкому і газоподібному. Частина її компонентів осідає на дно, частина знаходиться у вигляді суспензій та емульсій у товщі води, а частина – у молекулярно розчиненому стані. У зв'язку з такими особливостями нафти вона, потрапляючи у воду, захоплює в сферу свого

впливу всю товщу води водойми. Водні організми, де б вони не мешкали (на поверхні води або на певній глибині), піддаються дії нафти, її компонентів та продуктів окислення вуглеводнів і продуктів переробки нафти. У воді, що містить 0,5 мг/л нафтопродуктів, риба набуває присмаку нафти через 1 добу; 0,2 мг/л – через 3 доби; 0,1 мг/л – через 10 діб. Поріг сприйняття запаху нафти в рибі – при концентрації нафтопродуктів у воді 0,1 мг/л.

Вища водна рослинність, вкрита шаром нафтопродуктів, смол та інших рідких речовин антропогенного походження, непридатна для нересту риб і розвитку кормових організмів. Летальною концентрацією для водоростей виявляється нафтове забруднення від 1 мг/л, а припинення розмноження клітин спостерігається при концентраціях 0,1– 0,001 мг/л. Донні відклади, вкриті шаром нафтопродуктів, незалежно від товщини шару також непридатні для мешкання організмів.

Забруднення місць мешкання водоплавних та інших корисних птахів і тварин призводить до різкого скорочення їх кількості. Нафтова плівка на поверхні води просочує пір'я у перелітних птахів, вони не можуть злетіти і гинуть. Особливу шкоду водоймі наносить нафтова плівка, перешкоджаючи газообміну між водою та атмосферою, вона знижує вміст кисню в воді, зменшуючи здатність води до самоочищення, перешкоджає випаровуванню вологи з поверхні водойми (порушує кругообіг води).

Серед шкідливих органічних сполук, характерних для виробничих стічних вод авіапідприємств, слід відмітити ацетон і бензол. Ацетон для людини і теплокровних тварин малотоксичний при надходження в організм з питною водою. Чинить місцеву подразнюючу дію на шкіру і слизові оболонки. На санітарний режим водойм ацетон практично не впливає. Бензол чинить гостру місцеву подразнюючу дію, всмоктується шкірою і спричинює загальнотоксичну дію на організм. Риба набуває неприємного запаху при концентрації бензолу 10 мг/л.

Деякі метали, що містяться в виробничих стічних водах, надходячи на очисні споруди і осідаючи в двоярусних відстійниках і метантенках, згубно діють на мікрофлору, яка приймає участь в зброджуванні осаду, і тим самим затримують його мінералізацію, а в метантенках – також утворення газу.

На біофільтрах та аерофільтрах вони шкідливо впливають на мікроорганізми, які приймають участь в очистці стічних вод, і повністю стерилізують їх або знижують ефективність біологічної очистки стічних

вод. Особливо шкідливо впливають на мікрофлору очисних споруд хром, нікель, свинець, мідь, цинк, срібло і ртуть.

Деякі солі металів, що надходять в мережу каналізації, можуть спричинити корозію каналізаційних труб, порушити їх герметичність. Внаслідок цього стічні води можуть просочуватися в грунт і забруднювати підземні води, а при відсутності напору в водопровідній мережі і негерметичності водопровідних труб – надходити в питну воду. До числа металів, які викликають корозію таких труб, відносяться алюміній, цинк, хром, залізо, нікель, олово, мідь, свинець, срібло.

Розчинні в воді солі деяких металів в малих концентраціях стимулюють ріст рослин і можуть застосовуватися як мікродобрива (бор, марганець, миш'як, хром та ін.). В районах з недостатньою вологозабезпеченістю, де необхідне зрошення сільсько-господарських культур, використання з цією метою виробничих і господарсько-побутових стічних вод не тільки можливе, а й необхідне. Однак недостатньо очищені стічні води, особливо при великих концентраціях в них солей металів, згубно діють на рослини. Крім того, при цьому відбувається засолення грунту, вилуговування солей, гальмування біохімічних процесів в грунті і клітинах рослин, заповнення грунту грубо дисперсними і колоїдальними речовинами.

Для промислових стічних вод ряду авіапідприємств, особливо заводів, характерна наявність різних сполук алюмінію, берилію, хрому і деяких інших металів. Нерозчинні в воді сполуки металічного алюмінію не всмоктуються в кишечнику і вважаються нетоксичними, хоча деякі люди відрізняються підвищеною чутливістю до нього. З питною водою алюміній може надходити в організм у вигляді таких токсичних сполук, як хлориди, нітрити і сульфати. Розчинні в воді сполуки алюмінію через добу після їх прийому всмоктуються в кров до 50 % введеної кількості і в подальшому виділяються із організму, але значна частина їх накопичується в тканинах.

Згідно з дослідженнями деяких зарубіжних авторів, токсична дія на організм людини при прийомі в середину проявляється при наступних дозах сполук алюмінію: оцтовокислий алюміній – 0,2–0,4, гідроокис алюмінію – 3,7 –7,3, алюмінієві квасці – 2,9 мг/кг маси. Останні сильно подразнюють слизову оболонку очей і при концентрації цієї сполуки в водоймі 0,1 мг/л з розрахунку на алюміній під час купання у людей спостерігається хронічний кон'юктивіт, а при концентрації понад 0,5 мг/л – гостре запалення кон'юктиви. Мінімальна шкідлива концентрація хлористої та азотнокислої сполук алюмінію з розрахунку на іон металу

складає в воді 0,1 мг/л. Деякі сполуки алюмінію, наприклад, алюміній – калій сірчанокислий та алюміній – натрій сірчанокислий, є алергенами.

Для риб найбільш шкідливі окис алюмінію, а також азотнокислий та хлористий алюміній. Сполуки алюмінію шкідливо діють також на інші водні організми, що приймають участь у самоочищенні водойм і є кормовими ресурсами для риб, а також на мікроорганізми. Так, алюміній азотнокислий згубно діє на дафнії вже з концентрації 0,5 мг/л. Другим за токсичністю є алюміній хлористий, решта сполук алюмінію малотоксичні.

Потрапляючи зі стічними водами в водойми, сполуки алюмінію затримують процеси їх самоочищення. Концентрація алюмінію азотнокислого з розрахунку на іон металу 1 мг/л гальмує розмноження мікрофлори води і тим самим також затримує процеси самоочищення водойм. Використання стічних вод з концентрацією алюмінію понад 1 мг/л може призвести до загибелі посівів.

Високотоксичні стічні води з сполуками берилію, який часто використовується на авіапідприємствах для підвищення зносостійкості авіаційних деталей. В концентраціях понад 0,15 мг/л в м’якій воді і понад 11–20 мг/л в твердій воді берилій викликає загибель риб, а дафнії гинуть вже при концентрації берилію понад 0,05 мг/л. При концентрації берилію 0,5–1,0 мг/л різко гальмуються біохімічні процеси самоочищення водойм і розмноження мікрофлори. Використання стічних вод з вмістом берилію понад 15 мг/л для зрошування сільськогосподарських культур недоцільно.

В ряді технологічних процесів на авіапідприємствах використовуються солі хрому, які викликають різноманітні шкідливі дії на організм людини. При вмісті в водоймі сполук шестивалентного хрому і споживанні їх з питною водою уражуються внутрішні органи, при купанні в водоймі можливі запалюючі зміни слизових оболонок очей, дерматити та екземи, хром викликає також канцерогенну дію на живі організми. Хром з води накопичується в тканинах риб. Форель, наприклад, акумулює хром у вигляді хромату в концентрації понад 0,001 мг/л, а концентрація хрому в свіжій воді понад 10 мг/л є токсичною для форелі. Для більшості інших видів риб летальною є концентрація хрому понад 20–50 мг/л.

Такі сполуки шестивалентного хрому, як хромова кислота, хромовий ангідрид, біхромат натрію згубно діють на різні водні організми при концентраціях понад 0,01 мг/л. Із сполук тривалентного хрому найвищу токсичність для водних організмів має сірчанокислий хром. Шкідливо впливаючи на флору і фауну водойм, сполуки хрому тим самим гальмують

проходження процесів самоочищення води. Стічні води із вмістом хрому не можна використовувати для поливки сільськогосподарських культур.

Таким чином, всі існуючі види забруднення водойм впливають на здоров'я людей, тварин, на розвиток водних організмів. Забруднена вода не тільки стає непридатною чи малопридатною для використання, але й завдає значної, часто непоправної шкоди всьому природному середовищу, з яким вона взаємодіє.

1.2.2. *Забруднення навколишнього природного середовища під час авіаційно-хімічних робіт*

Для забезпечення планомірного розвитку авіаційних робіт в сільському та лісовому господарствах уже з початку 30-х років минулого століття проводилися наукові дослідження в області застосування авіації в народному господарстві. Як показали результати досліджень, при авіаційному оприскуванні досягається значно краща, ніж при оприскуванні наземною апаратурою, рівномірність і дисперсність крапель [5]. Це дозволило застосовувати висококонцентровані емульсії, суспензії та розчини міндобрив, пестицидів, гербіцидів та інших хімікатів при порівняно невеликих витратах рідини на одиницю площі.

Майже 30 років, починаючи з 1929 року, в республіках СРСР знаходилися на експлуатації в сільськогосподарській авіації літаки По-2 конструкції Н.Н.Полікарпова. Був створений спеціальний авіаоприскувач, змонтований на літаку По-2. Два таких розпилювачі підвішувалися під нижньою площиною літака і забезпечували значну ширину захвату і рівномірність розпилювання хімікатів.

В передвоєнні роки було розроблено і впроваджено в народне господарство ряд нових авіахімробіт в сільському господарстві:

– розсіювання мінеральних добрив;

– висіювання насіння лісу, саксаулу, рису;

– боротьба з шкідниками і хворобами виноградників тощо.

За допомогою авіації розгорнулася планомірна робота, спрямована на знищення осередків масового поширення сарани. В той же час в результаті систематичного знищення за допомогою авіації личинок малярійного комара у відкритих водоймах різко зменшилася захворюваність населення малярією.

Широкому використанню авіації в народному господарстві сприяла розробка і побудова конструкторським колективом, який очолював

генеральний конструктор О.К.Антонов, нового багатоцільового літака Ан-2. Універсальність цього літака дозволила широко використовувати його для виконання всіх видів авіаційно-хімічних робіт в сільському господарстві, а також для охорони лісів від пожеж, повітряного фотознімання, надання швидкої повітряно-медичної допомоги та перевезення пасажирів. Високі льотно-технічні та економічні характеристики забезпечили успішну експлуатацію літака в будь-яких зонах земної кулі. В сільськогосподарському варіанті літаки Ан-2 виявилися в 3–4 рази продуктивнішими, ніж літаки По-2.

Новим важливим етапом в розвитку сільськогосподарської авіації є застосування гелікоптерів для боротьби з шкідниками і хворобами рослин. Важливою перевагою гелікоптера в порівнянні з літаками є краща якість розподілення хімікатів на оброблюваній поверхні. Лопаті несучого гвинта гелікоптера створюють потужний низхідний повітряний потік. Отрутохімікати добре перемішуються в цьому потоці, під крутим кутом опускаються на землю, інтенсивно обгортаючи рослинність і рівномірно покриваючи як верхню, так і нижню сторони листа в будь-якому ярусі крони.

Універсальність літаків і гелікоптерів дозволяє зменшити сезонність у використанні авіаційної техніки. До переваг авіації слід віднести також можливість і доцільність застосування хімікатів без введення до їх складу емульгаторів, які звичайно використовуються для отримання стійких емульсій. Відсутність емульгаторів дозволяє при авіаоприскуванні відтворити більш крупні краплі розчину, а кількість дрібних, які піддаються інтенсивному випаровуванню, звести до мінімуму. При цьому авіаційна апаратура забезпечує підтримку розчину в збуреному стані, що виключає розпад емульсії.

В практиці сільськогосподарського виробництва засто-совуються високопродуктивні наземні машини для догляду за рослинами. Однак такі машини для внесення в грунт, наприклад, мінеральних добрив звичайно мають велику масу, недостатню маневреність, і вихід в поле не завжди можливий через поганий стан грунту або густу рослинність на дільниці. Важливо також, щоб машина, яка застосовується, менше ущільнювала грунт і не здійснювала механічних пошкоджень культурним рослинам, що обробляються. Дослідження свідчать, що трактор або тягач на деяких посівах культур пошкоджує до 10 % посівів.

Застосування літака і гелікоптера дозволяє уникнути деяких труднощів, які властиві наземним машинам, тому включення їх в систему

машин для боротьби з шкідниками і хворобами рослин, а також для внесення мінеральних добрив та інших хімікатів раціонально доповнює наземну сільськогосподарську техніку. Літаки і гелікоптери мають ряд техніко-економічних переваг. До них відносяться: висока продуктивність і маневреність, що дозволяє обробляти майже будь-які дільниці, можливість рівномірного розподілення на площі як великих, так і малих кількостей хімікату.

Головною особливістю авіаційної обробки рослин або грунту є нанесення хімікатів та інших матеріалів зверху з малої висоти (5–50 м). Струмина хімікату, що випускається з літака або гелікоптера, вийшовши із зони повітряних завихрень, які утворюються за літальним апаратом, осідає потім на рослини і землю у вигляді широкої смуги.

Авіаційна обробка повинна задовольняти агротехнічні вимоги до даного виду сільськогосподарської роботи. Ці вимоги зводяться до забезпечення заданої щільності і рівномірності розподілення пестицидів, мінеральних добрив, зерен рослин або інших матеріалів при мінімальних втратах в процесі обробки поля, лісу чи інших угідь. Оскільки загальна ширина смуги і характер розподілення часток хімікатів залежать головним чином від висоти польоту, то дотриманню висоти приділяється особлива увага. При недотриманні висоти польоту буде змінюватися ширина смуги, а також концентрація хімікату на одиницю площі.

При оприскуванні і опилюванні пестицидами полів, садів, виноградників, заболочених місць і ставків польоти здійснюються на мінімально допустимій висоті 5 м над рослинністю або дзеркалом водойми. Над лісом польоти виконуються на висоті 10 м над кронами.

Польоти на малих висотах призводять до значних акустичних забруднень НПС, які негативно впливають на тваринний світ в районі проведення авіахімробіт.

Недотримання на дільниці заданої у відповідних інструкціях висоти польоту є причиною огріхів і непотрібних загущень, тобто браку в роботі. Огріхи та загущення можуть спричинити також неправильні виходи на сигнал і відхилення від заданого напряму. Для обробки дільниць в гірських районах більш ефективним в порівнянні з літаками є застосування гелікоптерів, які відрізняються великим діапазоном швидкостей і високою маневреністю. Для літаків такі дільниці недоступні через велику швидкість, яка не дозволяє маневрувати в вузьких долинах.

Слід відмітити, що для авіаційного застосування хімікатів важливе значення мають метеорологічні умови, особливо стан приземного шару

повітря [6]. Наряду з загальними вимогами, викладеними в настановленні з метеорологічного забезпечення польотів в цивільній авіації, якими керуються при польотах, на авіаційно-хімічних роботах виникає ряд додаткових вимог та умов, що витікають із специфіки застосування високодисперсних матеріалів. До цього відносяться, наприклад, спеціальна розвідка умов погоди і постійний контроль за станом і зміною метеорологічних елементів, які впливають на якість авіаційно-хімічних робіт та на втрати при їх виконанні.

Насамперед треба мати детальну метеохарактеристику приземного шару повітря і знати особливості зміни метеорологічних елементів на протязі доби. Сприятливими метеоумовами для виконання авіаційно-хімічних робіт будуть не тільки добра горизонтальна видимість, відсутність сильного вітру і висхідних потоків, але й певне оптимальне співвідношення метеоелементів, які характеризують погоду як в момент обробки рослин, так і в найближчий подальший період.

Необхідність високоякісної обробки рослин пиловидними та рідкими отрутохімікатами з мінімальними втратами внаслідок зносу, випаровування та осипання сухих часток рослин на землю змушує враховувати не тільки умови повітряного середовища в приземному шарі, але й стан рослинності, наявність роси на ній тощо. Недостатнє врахування в даному випадку метеоумов може призвести до величезних втрат і практичної безуспішності проведених заходів.

Велике значення має також мікроклімат оброблюваної дільниці в шарі повітря 1,5 – 2 м над поверхнею грунту в безпосередній залежності від особливостей даної місцевості і характеру рослинного покриву.

При проведенні авіаційно-хімічних робіт найбільше значення мають наступні метеорологічні елементи: вітер, температура повітря, вологість повітря, конвекційні потоки та опади. Комплекс цих елементів і їх співвідношення в даний момент визначають стан погоди.

Спостереження показують, що кожний метеоелемент змінюється на протязі доби, змінюється їх співвідношення. Послідовна зміна метеоелемента на протязі доби називається добовим ходом. Існує добовий хід вітру, температури, вологості повітря тощо.

Швидкість вітру визначається анемометром за допомогою секундоміра або годинника з секундною стрілкою. Відмічають кількість поділок, які пройшла велика стрілка анемометра за 100 с і ділять отриману цифру на 100. Наприклад, за 100 с стрілка пройшла 250 поділок.

Поділивши 250 на 100, отримаємо 2,5 м/с. До отриманої цифри слід додати значення інструментальної поправки приладу (±).

Швидкість вітру змінюється на протязі доби періодично. Як правило, добовий хід вітру має один максимум (після полудня), а вночі вітер стихає. Влітку денний максимум більш різкий, ніж зимою. Змінюється вітер також і з висотою через шорсткість поверхні грунту, рослинного покриву та інші причини. Допустима при авіахімроботах швидкість вітру наводиться у відповідних інструкціях. Опилювання допускається при слабкому вітрі (до 2 м/с), а оприскування можна здійснювати при більшій швидкості (3–5 м/с).

Температура повітря визначається за допомогою термометра або термографа. Останній дає можливість отримати зразу готовий графік добового ходу температури. Цей хід температури влітку має один максимум, який через погану теплопровідність повітря досягається не опівдні, а приблизно о 14–15 годині.

Поверхня грунту і рослинний покрив грають значну роль в передачі тепла від сонця в атмосферу. Як відомо, сонячного дня поверхня грунту нагрівається і звідси тепло надходить в атмосферу завдяки турбулентній теплопровідності випромінювання.

Діяльним шаром земної поверхні є той шар, в якому майже повністю поглинається сонячне тепло. Товщина цього шару для деяких підстилаючих поверхонь (трава, ліс) може досягти значних розмірів. В лісі може бути дві підстилаючі поверхні: верхній полог лісу і грунт. Завдяки наявності цих двох поверхонь та значній відстані між ними в лісі спостерігаються вертикальні переміщення повітря і, зокрема, низхідні потоки, які сприяють інтенсивному осадженню рідких та пиловидних часток отрутохімікатів. Низхідні потоки повітря спостерігаються в ранішні години. Рано вранці вітер, проходячи над кронами, охолоджується від листя і прямує вниз до землі. Вночі температура серед рослин вища, а вдень нижча, ніж у повітрі, що оточує рослини. Листя в тіні може бути холодніше освітлених сонцем на 11°. Навіть один і той же листок з боку сонця на 6° тепліше, ніж з тіньового боку. Спостерігається також різниця температур повітря в кроні дерева і за її межами (в кроні яблуні вона може становити біля 3°).

Найбільш сприятливим часом роботи є ранок і вечір, коли температура повітря нижча, а, отже, менша в’язкість повітря, яка

уповільнює швидкість осадження часток. Крім того, при нижчій температурі краплі рідини менше випаровуються.

Нерівномірне нагрівання земної поверхні і повітряних мас, що знаходяться над нею, може спричинити порушення вертикальної рівноваги повітряних мас приземного шару. Може виявитись, що швидкість осадження часток в повітрі під дією сили тяжіння буде співпадати зі швидкістю висхідних конвекційних потоків, внаслідок чого частка не осяде на землю, а буде залишатися у зваженому стані над землею або буде віднесена далеко від місця її викиду з літака.

Авіаобробка рослин хімікатами при виникненні конвекційних потоків повітря недопустиме, оскільки вони перешкоджають осадженню і викликають різке зростання втрат хімікатів.

На відміну від швидкості вітру і температури добовий хід вологості повітря має два максимуми: вранці і ввечері. Найбільш слушними для авіахімробіт є години, коли вологість повітря максимальна. Висока вологість повітря супроводжується зниженням температури, завдяки чому конвенційні потоки виникають пізніше і тому тривалість ранішніх обробок збільшується. Відомо також, що в'язкість повітря з підвищенням його вологості зменшується, тому дрібні частки хімікатів осаджуються швидше. У цьому випадку значно зменшуються також втрати на випаровування.

При виконанні авіаційно-хімічних робіт мають значення роса і дощ. В атмосферному повітрі завжди є водяна пара. При певних співвідношеннях рівня вологості і температури повітря може відбутися конденсація водяної пари на рослинах та інших предметах. Роса сприяє проведенню авіаційно-хімічних робіт і підвищенню їх ефективності, особливо при опилюванні. Дощова погода, навпаки, є перешкодою для проведення авіаційно-хімічних робіт.

Таким чином, аналіз добового ходу метеорологічних елементів дозволяє правильно побудувати режим робочого дня на авіаційно-хімічних роботах і виконати їх з мінімальними втратами отрутохімікатів і максимальною ефективністю, з мінімальною шкодою для НПС.

1.2.3. *Визначення характеристик шкідливих домішок*

Важливою умовою правильного визначення рівнів забруднення тих чи інших об'єктів – відбір представницької проби, склад якої був би таким же, як і склад середовища, що контролюється. Неправильно відібрана проба дезорієнтує персонал, який обслуговує ту чи іншу технологічну або очисну установку, є причиною невірних висновків про рівень забруднення.

Для визначення забруднення грунтів в районі аеропорту пестицидами, металами, нафтопродуктами відбирають грунтові зразки один раз в квартал з п'ятикратною повторюваністю за методом конверта – в кутах льотного поля і в центрі, поряд із злітно-посадочною смугою. Проби відбирають чистою лопатою чи просічкою на глибині 20-25 см. Чотири проби, взяті в кутах аеродрому, переносять в центр поля, де в безпосередній близькості від злітно-посадочної смуги беруть п'яту пробу. Всі п'ять проб зсипають разом, звільняють від каміння, коренів та інших включень і ретельно перемішують. Після цього відбирають із суміші 1,5–2 кг грунту, зсипають в поліетиленовий або бавовняний мішок і маркують.

Щоб вивчити тенденцію зміни рівнів забрудненості грунтів з часом, слід відбирати проби кожний раз приблизно в одних і тих же місцях, причому ґрунтовий покрив і рослинність в місцях відбору проб повинні бути однорідними.

Найбільш поширений і високочутливий метод визначення хлорорганічних пестицидів – газорідинна хроматографія з використанням високотемпературних рідких фаз і селективного детектування пестицидів за допомогою детекторів захвату електронів або постійної швидкості рекомбінації. Хлорорганічні пестициди вилучають з грунту екстракцією повітряносухих зразків органічними розчинниками (ацетон + гексан), очищують екстракти сірчаною кислотою, а потім визначають вміст пестицидів в концентрованому екстракті методом газорідинної хроматографії. Кількість пестицидів розраховується за висотою піків порівнянням із стандартним розчином на хромотографах марок "Газохром-1109 ДТ", "Цвет-106" та ін.

Вміст металів в грунтах визначають методом емісійного спектрального аналізу за допомогою спектрографів ДФС-8, ДФС-13, ИСП-30 тощо.

Постійне спостереження за експлуатацією очисних споруд забезпечує аналізи стічної води до і після комплексу споруд, окремих його ланок і заміри кількості стічних вод в найбільш відповідальних точках мережі та у випуску в водойму. Як правило, оцінка роботи очисних споруд ґрунтується на аналізі разових і середніх проб, які відбираються на протязі доби через кожні 1–2 години. Проби беруть в пунктах повного змішування. Окремі проби змішують пропорційно притоку стічних вод. Оскільки вміст досліджуваних речовин може змінюватися за період між відбором проб та їхнім аналізом, то їх звичайно зберігають при 3-4°С. Частину проби, призначеної для визначення вмісту кисню, азоту амонійних солей,

загального азоту, важких металів (крім свинцю), консервують, додаючи сірчану кислоту. До іншої порції, призначеної для визначення зважених часток, нітрит- і нітрат-іонів, додають хлороформ. На місті відбору проб визначають або фіксують розчинений кисень, активний хлор, розчинені сульфіди, температуру.

Визначення кисню ґрунтується на реакції взаємодії розчиненого кисню з гідроокисом двовалентного марганцю та на йодометричному дослідженні отриманих сполук марганцю, що знаходяться в стадії окислення. При визначенні кисню перешкоджаюча дія спостерігається при будь-яких змінах концентрації кисню в пробі, що відбуваються в період між відбором проб і фіксацією, а також при змінах складу осаду гідроокисів марганцю з моменту їх утворення до йодометричного дослідження.

Зміна концентрації кисню за період часу між відбором проби і випадінням осаду гідроокисів марганцю може бути викликана підвищенням температури проби води, хімічним або біохімічним споживанням кисню або утворенням. Тому проби води після відбору негайно фіксують додаванням сульфату марганцю і лугу.

Для визначення кисню в стічній воді, яка очищується в аеротенках, активний мул консервують розчином сулеми і сірчанокислої міді і після осідання мулу визначають кисень в декантаті (франц. decanter – зливати, зціджувати).

Біохімічне споживання кисню (БСК) визначають його кількістю, витраченою на аеробний біохімічний розклад органічних речовин, що містяться в стічній воді. Швидкість окислення залежить від характеру органічної речовини. В господарсько-побутових стічних водах мінералізація нестійких органічних речовин при 20°С закінчується на протязі 10 діб, кінцева стабілізація окислюваних речовин настає через 20 діб. Практично БСК частіше всього визначають за 5 діб ($БСК_5$). Якщо в стічних водах присутні органічні речовини промислового походження, процес біохімічного окислення носить складний характер і визначається такими факторами, як інгібуюча та токсична дія окремих компонентів виробничих стічних вод, акліматизацією до цих речовин бактеріальної флори тощо. В цьому випадку визначення БСК продовжується до повного припинення поглинання кисню, який йде на окислення органічних речовин. Процес повного біохімічного окислення може продовжуватися 20–30 діб і, звичайно, носить нерівномірний характер. З метою виявлення токсичного ефекту визначення БСК проводять при різних розведеннях. Співвідношення БСК і ХСК (хімічне споживання

кисню) для господарсько-побутових стічних вод складає 1:3, а для виробничих стічних вод з великим вмістом хімічно важкоокислюваних речовин промислового походження це співвідношення зменшується.

Про загальний вміст органічних речовин в стічних водах частіше всього судять за значенням ХСК. Для визначення ХСК застосовують біохроматний метод. Заважаючий вплив хлорид-іонів, які завжди присутні в стічних водах, усувають додаванням сульфату срібла в кількості, достатній для зв'язування всіх хлорид-іонів. При цьому сульфат срібла виконує роль каталізатора, який сприяє більш повному окисленню багатьох органічних речовин.

З органічних компонентів, які містяться в стічних водах авіапідприємств, в першу чергу слід визначати нафтопродукти. З цією метою застосовують метод, оснований на хроматографічному відокремленні нафтопродуктів від інших домішок, що екстрагуються, в тонкому шарі силікагелю. Визначення проводять ваговим, нефелометричним і колориметричним методами. Доцільність застосування варіанту тонкошарової хроматографії визначається тим, що силікагель на відміну від окису алюмінію сприяє більш повному відокремленню нафтопродуктів від домішок ліпідної (грец. "ліпос" – жир) природи, присутність яких характерна для стічних вод авіапідприємств. Крім того, тонкошарова хроматографія з використанням характерних люмінесцуючих зон дозволяє контролювати повноту відокремлення нафтопродуктів від основної маси сторонніх домішок.

Неорганічні сполуки отруйних металів можуть знаходитися в стічних водах в грубо дисперсному, колоїдному та розчиненому станах. При відстоюванні стічних вод важкі метали разом з грубо- дисперсною суспензією потрапляють в осад. Метали в тонко- дисперсному і розчиненому стані потрапляють в аеротенки, звідки з очищеною водою частина розчинених металів та металів, сорбованих на активному мулі (на зважених речовинах), потрапляє в водойму. Тому визначення вмісту металів в стічних водах слід проводити як до, так і після фільтрації. З цією метою використовують хімічні методи або атомно-абсорбційну спектрофотометрію. В останньому випадку метали переводять в інший стан "мокрим" оголенням сумішшю азотної та хлорної кислот.

1.2.4. *Очистка стічних вод*

Для звільнення стічних вод від органічних і неорганічних забруднень здійснюють їх очистку і знешкодження. Необхідний ступінь очистки стічних вод зумовлюється їх кількісною та якісною характеристиками, а також потужністю і значимістю водойми, в який передбачається спуск оброблених на очисних спорудах стічних вод.

Очистка господарсько-побутових і виробничих стічних вод проводиться кількома методами з застосуванням різноманітних споруд, які вибирають з урахуванням потрібного ступеня очистки, характеру і якості стічних вод, наявності вільних земельних ділянок, характеру грунту і рельєфу місцевості, кліматичних умов відводу оброблених на очисних спорудах стічних вод до водойми-приймача, простоти обслуговування і нагляду за спорудами, що експлуатуються, і техніко-економічних показників.

Очистка стічних вод включає наступні процеси: вилучення плаваючих домішок, відокремлення важких домішок, затримання більш легких зважених речовин, біологічну переробку і знежирювання забруднювачів, знезараження (дезинфекцію). До основних методів очистки стічних вод відносяться механічні, фізико-хімічні, хімічні та біологічні методи.

При механічному методі очистки відбувається розділення рідкої та твердої фаз пісколовками, решітками, відстійниками, септиками. За допомогою цих пристроїв можна виловити до 30 % забруднень, які зумовлюють значення $БСК_5$ у відходах.

Пісколовки призначені для виділення із стічних вод важких мінеральних сумішей і встановлюються у всіх випадках, коли до складу очисних споруд входять відстійники. Пісколовки передбачаються при витратах стічних вод понад 100 $м^3$/добу. Швидкість руху води в них підбирається такою, щоб випадали найбільш важкі мінеральні забруднення (пісок), але не встигали осісти дрібні органічні частки. В експлуатації очисних каналізаційних споруд найчастіше застосовуються горизонтальні пісколовки з дренованим дном, що складається з трьох відділень, та горизонтальні пісколовки з двох відділень невеликої продуктивності з ручною очисткою (до 0,5 $м^3$/добу осаду, що затримується). При більшій кількості осаду його видалення із пісколовок здійснюється гідроелеватором, рідше – грейдером.

Решітки поділяються на рухомі і нерухомі, найпростіші та з механічною очисткою. При ручній очистці відходи в міру їх накопичення регулярно, кілька разів на день, піднімають по решітці металічними граблями і скидають на дреновану площадку (дірчасте корито). В цьому випадку відходи вилучаються для знешкодження в закритих контейнерах.

При великій кількості відходів встановлюють решітки з механічною очисткою. Останнім часом замість простих решіток застосовують решітки-дробівки, які встановлюють в каналі, через який надходять стічні води. Тверді зважені і плаваючі частки, які надходять з потоком стічних вод, затримуються біля зовнішньої поверхні барабана, що обертається, з щілинними отворами шириною 6–10 мм. Барабан дробівки, що приводиться в рух за допомогою електромотора, затримує тверді відходи і подає їх на ріжучі гребені (зубці), які перемелюють тверді речовини.

Останні в подрібненому вигляді надходять в стічну воду і далі осаджуються у відстійниках. Перед решітками-дробівками необхідна установка пісколовок, оскільки це зменшує зношування ріжучих частин та експлуатаційні витрати.

Відстійники – це найбільш прості пристрої, прямокутні або круглі резервуари, які застосовуються для виділення із стічних вод грубо дисперсних домішок. За тривалістю перебування осаду відрізняють відстійники з короткочасним перебуванням осаду (2-3 дні) і з тривалим перебуванням і перегниванням осаду (септики і двоярусні відстійники). Осад із відстійників з короткочасним перебуванням спрямовують для переробки в метантенки. За призначенням відстійники поділяються на первинні і повторні. Первинні застосовуються при механічній очистці і до споруд біологічної очистки, а повторні – після споруд.

За напрямком руху стічної води відстійники поділяються на горизонтальні, вертикальні і радіальні. Останні мають вигляд горизонтальних відстійників, в яких рух рідини здійснюється вдовж радіусів від центру до периферійних збірних лотків. До відстійників відносяться також прояснювачі. В цих спорудах одночасно з відстоюванням відбувається фільтрація стічних вод через шар зваженого осаду.

В кожному відстійнику відрізняють: проточну або робочу частину, в якій потік стічних вод проходить з малими швидкостями руху; мулову частину, призначену для збору і зберігання зважених часток, що випадають в осад; нейтральний шар рідини, який відділяє робочу частину від мулової.

Септиками називають одноярусні відстійники, в яких відбувається виділення із стічної рідини нерозчинених речовин і подальше їх перегнивання. Септики застосовують при улаштуванні малої каналізації для попередньої механічної очистки стічних вод, які надходять від груп будівель, перед подачею їх на поля фільтрації і зрошення. Кількість стічних вод не повинна перевищувати 25 $м^3$/добу. Септики бувають однокамерні (кількість стічних вод до 1 $м^3$/добу), двокамерні (до 10 $м^3$/добу), трикамерні (понад 10 $м^3$/добу).

Для зневоднення мулу, затриманого в відстійниках, застосовують мулові площадки – сплановані ділянки землі (карти), огороджені з усіх сторін земляними валками і обладнанні дренажем. Карти заливають шаром до 0,25 м. Осад випускається через кожні 20-30 днів.

Метантенки – це резервуари циліндричної форми із залізобетону. Конічне дно має нахил 15–30°, перекриття виконується герметичним; у верхній його частині влаштовують ковпак для збору горючого газу метану, звідки його відводять в пристрої для спалювання або в атмосферу.

До основних фізико-хімічних методів обробки стічних вод відносяться кристалізація, випаровування, евапорація, екстракція, іонний обмін, сорбція, аерація.

Метод кристалізації ґрунтується на використанні залежності розчинності речовин від температури. За зміни температури можна отримати перенасичені розчини, з яких випадають кристали речовин (домішок).Процес кристалізації може бути прискорено за рахунок перемішування і охолодження стічної рідини. Кристалізація здійснюється в кристалізаторах періодичної дії з натуральним і штучним охолодженням, у кристалізаторах безперервної дії та у випаровувачах.

Очистка стічних вод шляхом евапорації (відгонки з водяною парою) полягає у відгонці летких з водяною парою забруднюючих органічних речовин, наприклад, фенолів. Евапорація відбувається або в апаратах періодичної дії, або ж в апаратах безперервної дії (скруберах). Стічна рідина протікає через колонку з насадкою назустріч парі, нагріваючись до 100°С, при цьому леткі домішки частково переходять у пару. Пара, яка пройшла евапораційну колонку, надходить до скрубера, де звільняється від захоплених забруднюючих речовин.

Екстракційний метод очистки полягає в обробці стічних вод певним розчинником, що не змішується з водою (екстрагентом), в якому забруднюючі домішки достатньо добре розчинені. Метод ґрунтується на законі розподілу.

Домішки, які усуваються в результаті екстракційної очистки, як правило, є органічними речовинами (анілін, фенол, оцтова кислота), оскільки в основному лише вони краще розчиняються в екстрагентах, ніж у воді.

Як екстрагенти, частіше використовуються органічні розчинники (бензол, чотирихлористий вуглець, мінеральні масла тощо).

Аерація забезпечує або ж десорбцію розчинених летких домішок (перехід у газову фазу), або ж окислення домішок і переведення їх у стан, який є сприятливим для вилучення з води. Процес дегазації може

ускладнюватися рядом факторів, наприклад, наявністю поверхневих нафтових чи масляних плівок, домішками, що адсорбують гази.

Сорбція здійснюється уведенням подрібненого сорбенту у стічну рідину (в статичних умовах) або фільтруванням води через шар сорбенту – вугілля, торфу, каоліну, стружки тощо (в динамічних умовах).

Нейтралізація є важливим хімічним способом регулювання значення показника pH. Її завдання – доведення реакції стічної рідини до нейтральної (pH7). Для нейтралізації кислих вод використовують як розчинні, так і слабкорозчинні у воді реагенти. До перших відносяться: вапно, їдкий натр, сода; до других – оксид та гідроксид магнію, карбонати кальцію та магнію.

Для прискорення процесу видалення колоїднорозчинних домішок із стічних вод застосовується коагуляція.

Суть біологічної очистки виявляється в тому, що органічні речовини, які знаходяться в стічній воді в розчиненому колоїдному і зваженому станах після механічної очистки, руйнуються живими організмами в умовах достатнього забезпечення стоків киснем.

До системи біологічної очистки стічних вод у природних умовах належать поля зрошення, поля фільтрації і біологічні ставки; до штучних – споруди для анаеробного розкладання – септики, двохярусні відстійники, метантенки і споруди для аеробного розкладання – біологічні фільтри, аеротенки.

У випадку застосування в технологічних процесах радіоактивних ізотопів стічні води можуть бути забруднені штучними радіоактивними елементами. Практично ніякими доступними методами не можна прискорити чи уповільнити розпад радіоактивних речовин у воді. Тому дезактивацію води можна виконати двома способами: 1) витримуванням її перед подачею користувачу протягом певного часу; 2) усуненням з неї завислих чи розчинених радіоактивних речовин. Перший спосіб застосовується лише в тих випадках, коли вода забруднена короткоживучими ізотопами.

Усунення радіоактивних речовин з води може виконуватися шляхом дистиляції, відстоювання, фільтрування, коагулювання, адсорбції (глиною, активованим вугіллям тощо), іонного обміну, а також різними комбінаціями вказаних методів.

Для попередження забруднення водойм на авіапідприємствах рекомендується: не допускати утворення побічних продуктів, які в кінці технологічного процесу опиняються в стічних водах; підбирати сировину,

що не містить шкідливих домішок або речовин, які утворюють такі домішки, якщо вони можуть потрапити в стічні води; промивні води повертати в технологічний процес з метою концентрування речовин, що вимиваються, подальшого їх виділення та утилізації.

1.3. Повітряний корабель як джерело забруднення

1.3.1. *Викиди шкідливих речовин з авіаційних двигунів*

В авіації застосовується два види нафтового палива: гас та бензин. Різниця між ними полягає в тому, що в бензині, який використовується як паливо для поршневих літаків, міститься свинець – найбільш токсичний забруднювач довкілля. Однак доля поршневих літаків серед загальної кількості повітряних кораблів в ЦА незначна (близько 5 %) і постійно зменшується [3].

У зв'язку з цим доцільно обмежитись розглядом забруднювачів довкілля, що утворюються при горінні гасу. Крім вуглекислого газу, водяної пари, азоту та деяких природних компонентів, продукти горіння гасу містять також окис вуглецю (CO), різні вуглеводні C_xH_y; окисли азоту (переважно NO та NO_2, позначаються NO_x); окисли сірки, тверді частки вуглецю у вигляді сажі, що утворюється при неповному згорянні гасу в вихідному соплі авіаційного двигуна, і деякі інші речовини в незначних кількостях.

Трапляються також викиди з повітряних кораблів і вихідного палива, причому не тільки в аварійних ситуаціях, але й при нормальній експлуатації при продувці чи спорожнюванні дренажних ємкостей, – після невдалого запуску двигуна перед початком польоту чи після виключення двигуна після закінчення польоту.

Слід відмітити, що навмисний викид в атмосферу палива при невдалому запуску двигуна чи після його виключення забороняється. Виконання цієї вимоги підтверджується поданням відповідно сконструйованої замкнутої дренажної системи.

Згідно з сучасними уявленнями зона впливу забруднюючих довкілля відходів авіаційних двигунів в районі аеропорту обмежується зоною аеропорту, в якій проходять наземні операції з повітряним судном, набір висоти до 1 км після зльоту і зниження з висоти 1 км перед приземленням.

Стосовно найбільш розповсюдженого в сучасній ЦА типу авіаційного двигуна – турбореактивного двоконтурного (ТРДД) можна виділити п'ять основних режимів (табл.1.4), тривалість яких відповідає максимальній тривалості режимів, що складають середнє значення

тривалості цих режимів для найкрупніших та найбільш завантажених аеропортів світу.

Таблиця 1.4

Режими роботи авіаційного двигуна в зоні аеропорту

омер жиму	Найменування режиму	Відносна тяга, $\overline{R}$	ість режиму t, хв.
1	Холостий хід і руління перед злетом (режим малого газу)	0,07	15
2	Зліт	1	0,7
3	Набір висоти	0,85	2,2
4	Захід на посадку	0,3	4
5	Руління після посадки (режим малого газу)	0,07	7

Підраховано викиди шкідливих речовин в зоні аеропорту за такий злітно-посадочний цикл для літаків різних типів (табл.1.5).

Таблиця 1.5

Емісія з авіаційних двигунів за злітно-посадочний цикл для літаків різних типів

Тип літака	Викиди шкідливих речовин, кг				
	CO	C_xH_y	NO_x	O_x	опіл
	8,8	45,5	68,3	),6	2,0
	7,8	1,5	12,7	),2	0,7
M	3,2	9,3	15,6	),5	1,8
	2,5	4,5	4,7	),1	0,5

Номінальний режим роботи двигуна, як один з найбільш економічних, є і одним з найбільш екологічно чистих (табл.1.6).

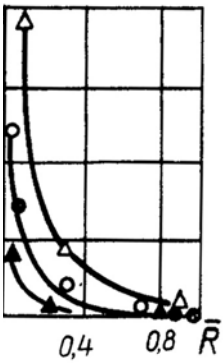
Таблиця 1.6

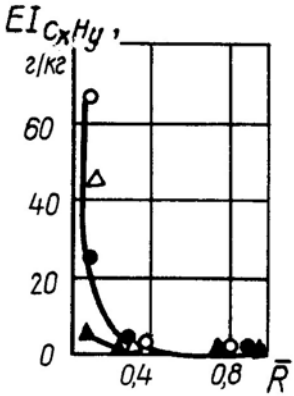
Маса шкідливих викидів при роботі двигуна на номінальному режимі за годину

Тип такa	л двигуна на літак)	Викиди шкідливих речовин, кг/год.				
		O	H_y	NO_x	O_x	піл
	-2У	),6	2,3	228	3,6	4,7
		,6	,2	77	,2	4,9
M	КУ	2,5	,9	83	3,4	3,5
	5	1,2	,6	3,5	),5	,8

Кількісною характеристикою викидів шкідливих речовин з авіаційного двигуна є так званий індекс емісії ЕІ, що визначає кількість викидів шкідливої речовини в кілограмах при спалюванні 1 кг авіаційного палива.

Залежності викидів від режимів роботи авіаційних двигунів різних типів показані на рис.1.8, 1.9. Як свідчать графіки, максимальні викиди СО та C_xH_y утворюються при найменших значеннях відносної тяги внаслідок того, що на режимах малого газу найменші значення мають температура і тиск повітря в камері згоряння, які зумовлюють мінімальну повноту згоряння палива. На режимах малого газу погіршуються і умови розпилювання авіаційного палива, що також погіршує повноту його згоряння.





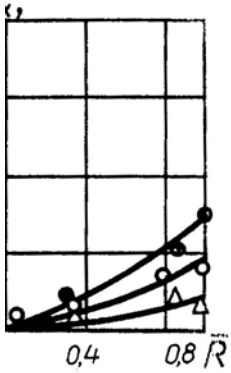


Рис.1.8. Зміна викидів газоподібних шкідливих речовин з авіаційних двигунів при зміні відносної тяги двигунів різних типів

Δ – AI-25 (літак Як-40);

O – JT3D (літак B-707, DC-8);

● – JT9D (літак B-747);

▲ – Д-36 (літак Як-42)

В міру збільшення відносної тяги викиди CO та C_xH_y різко зменшуються і на злітному режимі складають всього 0,1–0,5 % від максимальних викидів на режимі малого газу.

Викиди ж NO_x, навпаки, збільшуються із збільшенням тяги R і досягають максимального значення на злітному режимі при $\overline{R}$ =1. Аналогічно змінюється і ступінь димності газів, що відпрацювали (рис.1.9).

На графіку умовне число димності є зменшення коефіцієнта відображення у відсотках стандартного паперового фільтра, в результаті його потемніння при осіданні на нього часток сажі в процесі сертифікаційних випробувань двигуна. Сажа утворюється в камерах згоряння з великими надлишками палива при високих температурах, тобто на режимах тяги, близьких до максимальних.

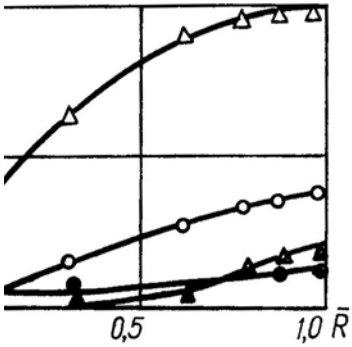


Рис.1.9. Залежність викидів твердих часток від режимів польоту літаків
Δ – AI-25 Як-40);
O – JT3D (літак B-707, DC-8);
● – JT9D (літак B-747);
– Д-36 (літак Як-42)

Викиди з авіаційного двигуна та його економічність взаємнопов'язані. Як відомо, економічність визначається значенням параметрів термодинамічного циклу, визначальними серед яких є температура газу перед турбіною, ступінь підвищення тиску $\pi_к$ і ступінь двоконтурності.

Підвищення вказаних параметрів в міру вдосконалення двигунів впливає в свою чергу на робочий процес камери згоряння двигуна і в результаті повинно впливати на рівень викидів шкідливих речовин.

Можна сподіватись, що подальше вдосконалення двигунів призведе до зменшення викидів CO та C_xH_y на одиницю тяги завдяки підвищенню їх економічності на режимі малого газу і зменшенню індексу емісії цих речовин.

Головним параметром, що визначає викиди NO_x, є температура повітря за компресором на вході в камеру згоряння. З підвищенням $\pi_к$ в перспективних двигунах температура повітря буде підвищуватись, що призведе до збільшення викидів NO_x.

Можна лише припускати, що підвищення емісії NO_x буде більш менш компенсоване зниженням питомих витрат $C_{пит}$ палива в перспективних двигунах.

1.3.2. *Розрахунок маси викидів і нормування емісії авіаційних двигунів*

Норми на викиди шкідливих речовин з авіаційного двигуна визначаються за допомогою прийнятого ІКАО контрольного параметра

емісії – відношення маси М викидів за цикл злітно-посадочних режимів до максимальної (злітної) тяги (M/R_o), кг/Н.

Маса М газоподібних токсичних компонентів за цикл злітно-посадочних режимів може бути обчислена за допомогою виразу:

$$M = \sum_i EI_i \cdot C_{num} \cdot \overline{R}_i \cdot R_o \cdot t_i . \qquad (1.8)$$

де t_i – тривалість режиму i, годин; C_{num} – питомі витрати палива на режимі i, кг/(Н·год); $\overline{R}_i$ – відносна тяга, що дорівнює відношенню тяги R_i на режимі i до максимальної тяги R_o ($\overline{R}_i = R_i / R_o$).

З врахуванням (1.8) можна записати:

$$M / R_o = \sum_i EI_i \cdot C_{num} \cdot \overline{R}_i \cdot t_i ,$$

тобто контрольний параметр емісії залежить від індексу емісії та питомих витрат палива на одиницю тяги, що в свою чергу визначається параметрами термодинамічного циклу двигуна – тиском і температурою повітря в камері згоряння, які є відомою газодинамічною функцією ступеня підвищення тиску $\pi_к$ в компресорі двигуна. Враховуючи, що питомі витрати палива також можна подати у вигляді функції від $\pi_к$, доцільно допустимі значення контрольного параметра емісії визначати в залежності від $\pi_к$.

Норми емісії встановлюються для великих магістральних літаків з ТРД та ТРДД, тяга яких перевищує 27 кН. Це пояснюється тим, що літаки з тягою до 27 кН використовують незначну кількість палива у порівнянні з магістральними літаками.

Повітряний корабель – це нестаціонарне організоване джерело викидів шкідливих речовин в атмосферу. Визначення гранично допустимих викидів в районі аеропорту передбачає розрахунок маси викидів CO, C_xH_y NO_x та твердих часток для режимів злітно-посадочного циклу згідно з даними таблиці 1.4.

Маса викиду М кожного компонента визначається сумою мас, що утворюються при наземних режимах $M_н$ (руління перед зльотом та після посадки), а також при злітно-посадочних операціях $M_п$ (зліт, набір висоти, посадка):

$$M = M_н + M_n$$

Маса річних викидів $M_н$ шкідливої речовини при наземних операціях для всіх повітряних кораблів даного типу з урахуванням формули (1.8) визначається за допомогою виразу:

$$M_н = EI_н C_{пит} \overline{R}_н R_o Nn(t_{н1} + t_{н5}),$$

де $\overline{R}_н$ – відносна тяга на режимі малого газу (табл.1.4); n – кількість двигунів на повітряному кораблі даного типу; N – річна кількість зльотів-посадок для всіх повітряних кораблів даного типу; $t_{н1}$ і $t_{н5}$ – тривалості відповідно першого та п'ятого режимів згідно з даними табл.1.4 в годинах; значення індексів емісії EI (кг шкідливої речовини/кг палива) для двигунів різних типів подані в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7

Індекси емісії шкідливих речовин авіадвигунів
при наземних операціях повітряних кораблів

авіадвигуна	Індекс емісії, *EI,* кг шкідливих речовин/кг палива			
	CO	C_xH_y	NO_x	C
	0,0276	),00475	0,00673	00096
	0,0193	0,0034	0,0084	00096
У	0,0546	0,0094	0,0054	00096
І	0,0094	0,0054	0,0054	00096
У	0,0312	0,0302	0,0049	00096
	0,0277	0,0267	0,0055	00096
	0,0277	0,0286	0,0022	00096
	0,035	0,015	0,005	00096
	0,085	0,0068	0,0021	00096
	0,7487	0,0234	0,0048	00096

Маса річних викидів M_n при злітно-посадочних операціях всіх повітряних кораблів даного типу визначається за формулою:

$$M_n = Nn \sum_{i=1}^{3} W_i T_i,$$

де W_i – масова швидкість емісії компонента, кг/год (табл.1.8) для *i*-го режиму – відповідно злітного ($\overline{R} = 1$), номінального при наборі висоти ($\overline{R} = 0{,}85$), зниження з висоти ($\overline{R} = 0{,}3$).

На основі цих розрахунків встановлюються гранично допустимі викиди при умові, що викиди шкідливих речовин від сукупності всіх джерел в районі аеропорту не будуть створювати приземну концентрацію, що перевищує гранично допустиму концентрацію, небезпечну для населення, рослинності і тваринного світу.

Таблиця 1.8

Масова швидкість емісії (кг/год) шкідливих речовин
для різних режимів роботи авіадвигунів

Тип вигуна	ідносна відповідного режиму	Масова швидкість W_i шкідливих речовин, кг/год			
		CO	C_xH_y	NO_x	C
	1 0,85 0,3	0,2 0,2 1,5	0,5 0,4 0,07	98 59 10	,189 ,661 0,7
	1 0,85 0,3	5,5 5,5 6,0	1,8 1,4 1,4	80 50 10	,032 ,803 1,4
У	1 0,85 0,3	6,0 7,5 18,0	2,5 2,3 3,0	89 61 11	,261 ,483 1,4
П	1 0,85 0,3	6,5 7,5 18,0	2,6 2,3 3,1	95 61 60	,645 ,482 ,477
2У	1 0,85 0,3	12,2 10,2 19,1	3,7 4,1 7,0	104 76 12	,885 ,915 1,7
4	1 0,85 0,3	12,5 11,0 20,5	4,0 4,5 7,0	110 85 10	,942 ,342 ,636
	1 0,85	7,9 10,4	0,2 0,2	9,2 4,5	),84 ,624

Закінчення табл. 1.8.

Тип вигуна	ідносна відповідного режиму	Масова швидкість W_i шкідливих речовин, кг/год			
		CO	C_xH_y	NO_x	C
	0,3	17,0	0,7	1,6	,341
	1 0,85 0,3	6,5 10,0 26,5	6,2 0,2 1,15	7,5 4,0 1,3	,701 ,597 0,34
	1 0,85 0,3	90 75 20	2,0 1,5 0,6	0,5 0,4 ,085	,087 ,071 0,03
17	1 0,85 0,3	2,65 2,4 3,0	0,5 0,5 1,0	3,5 2,5 1,0	,396 0,34 0,19

1.3.3. *Перспективні способи зниження емісії авіаційних двигунів*

Подальше вдосконалення двигунів магістральних літаків буде сприяти зниженню викидів CO та C_xH_y на одиницю тяги завдяки зниженню питомих витрат палива на режимах малого газу.

Висока повнота згоряння палива характерна для режимів з максимальною чи близькою до неї тягою. Емісія CO та C_xH_y є результатом неповного згоряння палива.

В міру зниження R температура і тиск повітря в камері згоряння ГТД понижуються, що не сприяє ефективному процесу згоряння палива. Крім того, на таких режимах погіршується і розпилювання палива, що також призводить до зниження повноти згоряння палива і збільшення викидів CO та C_xH_y.

Окисли азоту утворюються в камері згоряння в зонах з високою температурою внаслідок окислення азоту, що міститься в повітрі, киснем, причому швидкість реакції окислення підвищується з ростом температури за експоненціальним законом.

Таким чином, заходи, спрямовані на підвищення економічності двигуна, автоматично призводять до зменшення викидів CO та C_xH_y, однак ніяк не сприяють зниженню викидів NO_x без впровадження спеціальних заходів, які в той же час не повинні погіршувати експлуатаційні характеристики повітряного корабля. Одним з ефективних способів

регулювання маси викидів є оптимальний вибір часу перебування палива у зоні горіння, який дозволяє раціонально збалансувати викиди CO, C_xH_y та NO_x. При попаданні в камеру згоряння порції дуже багатої суміші значно затягується процес вигоряння палива, сприяючи росту емісії CO, C_xH_y та сажі. Присутність в камері згоряння багатої суміші може призвести до появи вкінці зони горіння області з максимальною температурою газу і, отже, з максимальними викидами оксиду азоту NO_x.

Для уникнення попадання багатої суміші в зону горіння використовують змішування палива з повітрям за допомогою пневмофорсунок, форсунок з аерацією паливного факела, пристроїв з попереднім випаровуванням палива (в кілька разів зменшуються викиди CO, C_xH_y, практично відсутня сажа, суттєво зменшуються викиди NO_x); застосовують двохзонні камери згоряння; спалювання гомогенних (тобто однорідних за фазою та складом) збіднених сумішей (зменшуються викиди NO_x без збільшення викидів CO та C_xH_y); застосування каталітичних пристроїв (викиди NO_x зменшуються приблизно на два порядки).

Також існують і експлуатаційні способи зниження емісії шкідливих речовин. При рулінні після посадки повітряного корабля можна, наприклад, вимкнути частину двигунів, а працюючі двигуни будуть розвивати підвищену тягу, при цьому зменшаться сумарні витрати палива і знизяться викиди CO та C_xH_y.

При рулінні перед зльотом застосування цього способу пов’язане з додатковими витратами на облаштування місць попереднього старту та іншими проблемами.

Пропонується також буксирування повітряного корабля до злітно-посадочної смуги за допомогою засобів на електричній тязі тощо.

Відповідність викидів з авіадвигунів нормам встановлюється вимірюванням концентрації шкідливих речовин в вихлопних газах двигуна в ході сертифікаційних випробувань.

1.4. Теплові, електромагнітні та акустичні забруднення під час експлуатації авіаційної техніки

1.4.1. *Теплове забруднення природного середовища*

При виробництві енергії, пов’язаному зі спалюванням будь-якого виду палива, відбувається теплове забруднення НПС. При спалюванні річних об’ємів видобутку основних видів органічного палива (кам’яного вугілля, нафти та природного газу) виділяється біля $280 \cdot 10^{15}$ кДж тепла. За

оцінками вчених тепло антропогенного походження в даний час складає приблизно 0,005 % від тепла, що надходить від Сонця та із земних надр, і, таким чином, не може істотно впливати на тепловий баланс Землі.

Дійсно, в глобальному масштабі теплове забруднення біосфери не може поки що вважатись небезпечним. Однак потужні джерела антропогенних викидів тепла при умові їхньої високої концентрації на невеликих територіях можуть здійснювати помітний вплив на тепловий режим цих територій, просторів, акваторій.

Це відноситься, наприклад, до таких великих промислових районів, як Рурський басейн в ФРН, Чикагський промисловий комплекс в США, Донецький басейн в Україні. Тут температура повітря зимою може бути на кілька градусів вищою, ніж в невеликих населених пунктах, розташованих поблизу. Помітною може бути зміна теплового режиму в великих аеропортах з високою інтенсивністю повітряного руху.

Істотно змінюють також тепловий режим рік та озер скиди в них тепла від теплових електростанцій. Це суттєво впливає на умови мешкання водних організмів і на структуру екологічних систем таких водойм. Можна вважати, що вплив потужних антропогенних теплових джерел на біосферу цілком помітний, однак носить локальний характер. Вважають, що незворотні наслідки теплового забруднення будуть мати місце при стократному порівняно з сучасним енергоспоживанням.

1.4.2. *Джерела електромагнітних випромінювань*

Одним з важливих факторів навколишнього природного середовища, що впливає на якість довкілля, є електромагнітне поле. До природних полів належить електромагнітне поле Землі. Це поле утримує величезну кількість електрично заряджених часток, які створюють оболонку навколо Землі, названу магнітосферою. Від міжпланетного простору магнітосфера відділена так званою магнітопаузою, впродовж якої частки корпускулярних потоків (“сонячного вітру”) обтікають магнітосферу.

Під впливом корпускулярних потоків в магнітному полі Землі відбуваються короткочасні зміни, які називаються магнітними бурями.

Геомагнітне поле Землі – фактор навколишнього середовища, в умовах якого протікала багатовікова еволюція на планеті.

Зміни в геомагнітному полі пов’язані з сонячною активністю. Якщо на сонці відбувся спалах, то в сторону землі виривається потік сонячної плазми. Сонячний вітер, проникаючи в магнітосферу, різко підвищує температуру часток. В верхніх шарах атмосфери частки корпускулярних потоків створюють додаткову іонізацію, яка змінює умови

розповсюдження радіохвиль, збуджують свічення, які спостерігаються у вигляді полярного сяйва, та магнітні бурі.

Геомагнітне поле, як і гравітація – всепроникаючий та всеоб'ємний фізичний фактор, тому воно неминуче здійснює вплив на процеси, що відбуваються на землі та оточуючому її просторі.

Геомагнітне поле діє на всі живі організми, в тому числі і на людину. Так, в періоди магнітних бур збільшується кількість серцево-судинних захворювань, погіршується стан хворих, що скаржаться на гіпертонію.

В роки спокійного Сонця відмічається менше інфарктів міокарда, мозкових інсультів, гіпертонічних кризів, зате в роки активного Сонця судинні катастрофи помітно частішали.

Бурхливий розвиток науково-технічного прогресу призвів до того, що електромагнітні поля, створені людиною, в окремих районах в сотні разів перевищують середні природні поля. В умовах сучасного міста на організм людини впливають електромагнітні поля, джерелами яких є різні радіопристрої, електрифіковані транспортні лінії та лінії електропередач.

Високовольтні повітряні лінії електропередач, призначені для передачі електроенергії на великі відстані (частота 50 Гц), створюють напруженість поля на рівні землі в місцях максимального провисання проводів, під крайніми проводами та зовні на відстані 5 м від ліній проекцій крайніх проводів на землю: при напрузі високовольтної лінії 330 кВ – 2,5–5 кВ/м; 500 кВ – 7–8 кВ/м; 750 кВ – 10–15 кВ/м; 1150 кВ – 20–25 кВ/м.

Джерелами високочастотного електромагнітного випромінювання є радіо- і телевізійні станції різного призначення, а також радіотехнічні засоби ЦА, в які входять:

- радіоустаткування зовнішнього та внутрішнього зв'язку (зв'язкові, командні та аварійні радіостанції;
- радіонавігаційне устаткування (бортові обзорні радіолокатори, доплеровські радіолокатори вимірювання швидкості і кута зносу, радіовисотоміри, радіокомпаси, радіовідстанеміри);
- радіоустаткування систем посадки повітряних кораблів (обзорні, диспетчерські та посадкові радіолокатори, радіопеленгатори, радіомаяки).

Електромагнітні поля характеризуються напруженостями електричного Е (В/м) та магнітного Н (А/м) полів. Медико-біологічними

дослідженнями встановлено, що ступінь діяння ЕМП на людину залежить від діапазону частот поля, інтенсивності та характеру випромінювання (безперервний чи імпульсний) і тривалості дії.

Діяння електромагнітних полів, що створюються радіотехнічними об'єктами (РТО), має такі особливості:

– термічний ефект; ступінь теплової дії (Дж/с) відповідно Q_E і Q_H визначається кількістю тепла, що утворюється в тілі людини при електромагнітному випромінюванні [2]:

$$Q_E = 1{,}4 \cdot 10^{-19}\ \rho_{ср} f^2 E^2,$$

$$Q_H = 1{,}4 \cdot 10^{-15}\ \rho_{ср} f^2 H^2,$$

де $\rho_{ср}$ – середній питомий опір тканин, Ом·м; f – частота поля, Гц.

Термічний ефект з'являється за рахунок того, що ЕМП в середовищах, які проводять електричний струм (до таких відносяться і тканини організму людини), викликають струми іонної провідності та орієнтаційну поляризацію молекул у відповідності з частотою зміни ЕМП. Оскільки в'язкість і сили зчеплення між молекулами перешкоджають коливанням полярних молекул в змінному ЕМП, то при цьому відбувається втрата енергії ЕМП за рахунок поглинання її тканинами. Особливо велике значення має струм зміщення, зумовлений переорієнтацією молекул води. Цей струм і викликає нагрівання тканин організму. Наявність в організмі людини органів із слабо вираженим механізмом терморегуляції (мозок, очі, нирки, жовчний міхур та ін.) призводить до їхньої підвищеної чутливості до електромагнітних випромінювань.

Вплив ЕМП, що створюють РТО, залежить від частоти коливань хвилі. З підвищенням частоти (тобто із зменшенням довжини хвилі) негативний вплив на живий організм стає більш суттєвим за рахунок зменшення глибини проникнення мікрохвиль і росту поглинання енергії. Електромагнітне поле довгих хвиль має менший негативний вплив на живий організм, ніж поля коротких та ультрафіолетових хвиль;

– кумуляція – тобто можливе накопичення сумарного ефекту від дії ЕМП;

– сенсибілізація – підвищення чутливості після слабкого радіоопромінювання при повторних діях;

– стимуляція – покращення стану під впливом поля, а потім фаза пригнічення;

– дезадаптація – зниження пристосованості організму до інших видів діяння шуму, теплового діяння, іонізуючих випромінювань;

– локалізація електромагнітної енергії на певних органах, найбільш чутливими є статеві органи та очі.

Наслідком впливу ЕМП можуть бути порушення сну, втомлюваність, роздратованість, головні болі, загальна слабкість, статеве безсилля, порушення менструального циклу, болі в області серця тощо.

Електромагнітне поле навкруги будь-якого джерела має три зони: ближню – так звану зону індукції, проміжну – зону інтерференції та дальню – хвильову зону.

Для спрямованих випромінювачів із максимальним діаметром випромінювача D дальня зона в головному максимумі випромінювання формується на відстані $r \geq 2D^2/\lambda$, ближня на відстань $r \leq D$, а проміжна знаходиться в межах $D \leq r \leq 2D^2/\lambda$.

В зоні індукції людина або інший біологічний об'єкт піддається дії електричного та магнітного полів, між якими немає певної чіткої залежності. В зоні випромінювання напруженості електричного та магнітного полів співпадають за фазою і виконується умова, коли E = 377 Н.

Інтенсивність σ (Вт/м^2) ЕМП в зоні випромінювання оцінюється густиною потоку енергії, що проходить за одиницю часу через одиницю поверхні, перпендикулярної до напрямку поширення хвилі, за допомогою виразу:

$$\sigma = P_{ср}G_{ант}/(4\pi R^2),$$

де $P_{ср}$ – середня потужність передавача, Вт; $G_{ант}$ – коефіцієнт підсилення антени; R – відстань до випромінювача.

Коефіцієнт $G_{ант}$ визначається в залежності від геометричних розмірів D випромінювача:

При $D<\lambda/2$, $G_{ант} = 1–1,5$; при $D>\lambda/2$, $G_{ант} = 4\pi D^2/\lambda^2$.

Електричні поля (ЕП), що створюються пристроями електропередач змінного струму промислової частоти, можуть також здійснювати негативний вплив на людину та інші об'єкти.

До таких пристроїв відносяться повітряні лінії (ПЛ) електропередачі змінного струму промислової частоти (50 Гц), електричні і

трансформаторні підстанції, розподільні пристрої, струмопроводи, підземні та підводні кабельні лінії електропередачі та ін.

Розрізняють такі види впливу цих полів:

- безпосередній вплив, що проявляється при перебуванні в ЕП, причому ефект впливу посилюється із збільшенням напруженості поля і часу перебування в ньому;
- вплив електричних розрядів (імпульсного струму), які виникають при дотику людини або іншого об'єкта до незаземлених конструкцій, корпусів машин і механізмів на пневматичному ходу і протяжних провідників або при дотику людини, ізольованої від землі, до рослин, заземлених конструкцій та інших заземлених об'єктів;
- – вплив струму, який проходить через людину або інший об'єкт, що знаходиться в контакті з ізольованими від землі об'єктами, – струму стікання;
- – займання або вибух випарів легкозаймистих речовин внаслідок виникнення електричних розрядів при контакті предметів і людей з машинами і механізмами.

Вирішуючи проблему нормування електромагнітних випромінювань, учені прийшли до висновку, що граничнодопустимі рівні електромагнітних випромінювань для виробничих умов і захисту населення повинні бути різними. У виробничих умовах вплив ЕМП поширюється на дорослих і фізично здорових людей короткочасно протягом певного часу, а в населених місцях опромінюванню піддаються тривалий час або й цілодобово не тільки дорослі і здорові люди, але також діти, люди похилого віку, хворі, які більш чутливі до несприятливої дії ЕМП.

Згідно з Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань граничнодопустимі рівні ЕМП, що створюються РТО, поширюються на діапазон частот (табл.1.9).

Таблиця 1.9

Перелік діапазонів частот (хвиль) РТО

омер іапа-	пазон частот включаючи	пазон хвиль включаючи	дний метричний розподіл діапазонів

кону	нижню та рхню межу)	нижню та рхню межу)	
5	0 КГц	0^3 м	Кілометрові хвилі (НЧ)
6	000 КГц	0^2 м	Гектометрові хвилі (СЧ)
7	МГц	0 м	Декаметрові хвилі (ВЧ)
8	0 МГц	м	Метрові хвилі дуже високої частоти (ДВЧ)
9	000 МГц	м	Дециметрові хвилі (УВЧ)
10	ГГц	м	Сантиметрові хвилі надвисокої частоти (НВЧ)
11	0 ГГц	м	Міліметрові хвилі надзвичайно високої частоти (НЗВЧ)

Для діапазонів 5–8 частоти граничнодопустимі рівні (ГДР) напруженості електричного поля наведені в табл.1.10. Для порівняння в колонці 6 наведені ГДР для виробничих умов.

Таблиця 1.10

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів РТО

діапа-ну	Метричний розподіл діапазонів	стота, МГц	на хвиль, м	аселення Р,Вт/м	робничих ов ГДР
	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30...0,3	...10^3	25	–
	Гектаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	,3...3	..100	15	500
	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	...30	...10	1gλ	300
	Метрові хвилі (дуже високі	...300	...1	3	80

	частоти, ДВЧ)				

Примітка. Наведені діапазони виключають нижню і включають верхню межу частоти.

Для виробничих умов граничнодопустима густина потоку енергії $\sigma_{доп}$ в діапазоні частот 300 МГц...300ГГц залежить від допустимого енергетичного навантаження W:

$$\sigma_{доп} = W/T,$$

де W = 20 Вт·год/м^2 – енергетичне навантаження для антен, що обертаються чи сканують; W = 2 Вт·год/м^2 – енергетичне навантаження для нерухомих антен; T – час перебування в зоні випромінювання, годин.

Для електричного поля, що створюється пристроями електропередач змінного струму промислової частоти, Державними стандартними нормами і правилами встановлюються такі ГДР напруженості електричного поля:

– всередині житлових будинків – 0,5 кВ/м;

– на території зони житлової забудови – 1 кВ/м;

– у населеній місцевості, поза зоною житлової забудови (землі в межах міста з урахуванням перспективного розвитку на 10 років, приміські та зелені зони, курорти, землі селищ міського типу, в межах селищної межі і сільських населених пунктів, в межах цих пунктів), а також на території городів і садів – 5 кВ/м;

– на ділянках перетину ПЛ з автомобільними шляхами – 10 кВ/м;

– у ненаселеній місцевості (незабудована територія, яку відвідують люди, доступна для транспорту, та сільськогосподарські угіддя) – 15 кВ/м;

– у важкодоступній місцевості (недоступній для транспорту та сільськогосподарських машин) та на ділянках, спеціально відгороджених для виключення доступу населення – 20 кВ/м.

Напруженість ЕП визначається на висоті 1,8 м від рівня землі, для приміщень – від рівня підлоги.

1.4.3. *Способи захисту від електромагнітних випромінювань*

Всі засоби та методи захисту від ЕМП можуть бути умовно поділені на організаційні, інженерно-технічні та лікувально-профілактичні.

Для прогнозування рівнів електромагнітних випромінювань на стадії проектування використовуються розрахункові методи визначення густини потоку енергії і напруженості ЕМП.

Організаційні заходи передбачають запобігання попаданню людей в зону з високою напруженістю ЕМП, створення санітарно-захисних зон та зон обмеження забудов навколо антенних споруд РТО різного призначення та повітряних ліній промислової частоти.

Майданчики для розміщення РТО, що проектуються, необхідно вибирати з урахуванням потужності передавачів, характеристик спрямованості випромінювання, висоти розташування і конструктивних особливостей антен, рельєфу місцевості, функціонального призначення прилеглих територій, висоти забудови.

На території майданчика для РТО не допускається розміщення житлових та громадських будинків.

З метою захисту населення від впливу ЕМП, яке створюють РТО, встановлюються санітарно-захисні зони і зони обмеження забудови.

Санітарно-захисною зоною вважається територія, де на висоті до 2 м від поверхні землі перевищуються гранично допустимі рівні ЕМП, які наведені в табл.1.9–1.10.

При наявності кількох джерел випромінювання, в тому числі тих РТО, що працюють в різних радіочастотних діапазонах, рівень ЕМП, створюваний всіма джерелами на межі санітарно-захисної зони, повинен відповідати такій вимозі:

$$\frac{E_1}{E_{ГДР1}}+\frac{E_2}{E_{ГДР2}}+\frac{E_n}{E_{ГДРn}}+\frac{ГПЕ_1}{ГПЕ_{ГДР1}}+\frac{ГПЕ_2}{ГПЕ_{ГДР2}}+...+\frac{ГПЕ_n}{ГПЕ_{ГДРn}}=1 \qquad (1.9)$$

В межах санітарно-захисної зони РТО не допускається розміщення підприємств і споруд підвищеної пожежної небезпеки, які пов’язані з використанням легкозаймистих рідин або газів (бензосховища, газосховища, гаражі, бензо- і газозаправні станції тощо).

Зоною обмеження забудови вважається територія, де на висоті понад 2 м від поверхні землі перевищуються ГДР, наведені в табл.1.9–1.10.

Зовнішня межа зони визначається відносно максимальної висоти будинків перспективної забудови, на висоті верхнього поверху, де рівні ЕМП не перевищують значень, наведених у табл.1.9–1.10, і відповідають

вимозі (1.9). Межі санітарно-захисної зони і зони обмеження забудови при їхньому встановленні уточнюються на підставі інструментальних вимірів.

Територію зони обмеження забудови дозволяється використовувати для розміщення забудови різного функціонального призначення при умові дотримання в місцях перебування населення ГДР згідно з вимогами, визначеними табл.1.9–1.10 і виразом (1.9).

З метою захисту населення від впливу електричних полів промислової частоти також встановлюються санітарно-захисні зони – території, на яких напруженість ЕП перевищує 1 кВ/м.

Санітарно-захисна зона для ПЛ встановлюється у вигляді земельної ділянки, межі якої регламентуються по обидві сторони від неї на певній відстані від проекції крайніх фазних проводів на землю, в перпендикулярному до ПЛ напрямку:

– 20 м для ПЛ напругою 300 кВ;
– 30 м для ПЛ напругою 500 кВ;
– 40 м для ПЛ напругою 750 кВ;
– 55 м для ПЛ напругою 1150 кВ.

У межах цих санітарно-захисних зон забороняється розташовувати житлові і громадські будівлі і споруди, майданчики для стоянки і зупинки всіх видів транспорту, підприємства, на яких використовуються легкозаймисті рідини і гази, підприємства з обслуговування автомобілів, сховища нафти, нафтопродуктів та інших пожежонебезпечних речовин; працювати з легкозаймистими рідинами і газами, виконувати ремонт машин та механізмів.

Найближча відстань від ПЛ напругою 750 кВ повинна складати не менше 250 м, від ПЛ напругою 1150 кВ – не менше 300 м.

До інженерно-технічних засобів захисту від ЕМП відносяться електрогерметизація елементів схем, блоків, вузлів установки з метою зниження чи усунення електромагнітного випромінювання.

Мірою колективного захисту від електромагнітних полів може бути застосування дифракційних екранів, а також лісові насадження.

Зниження густини потоку енергії в прилеглих до РЛС зонах можна досягти підйомом антени на висоту. Мірою конструктивного та експлуатаційного характеру є програмне управління потужністю випромінювання електромагнітної енергії в зоні обзору 360°, а також виключення випромінювання в антенах обзору, де немає потреби в радіолокаційному контролі, тобто застосування секторного блокування випромінювання сканерів.

До лікувально-профілактичних заходів відносяться періодичні медичні огляди працівників та населення.

1.4.4. *Акустичні забруднення навколишнього середовища*

Наприкінці XX століття одним із найшкідливіших для довкілля факторів став шум.

Промислова революція сповістила про прихід епохи шуму. Нові заводи і фабрики, шахти і рудники принесли з собою всебічні забруднення середовища: пил, дим, спотворений пейзаж і, безсумнівно, шум.

Проблема шуму загострилась з винаходом парових машин, розвитком залізниць і особливо з появою двигунів внутрішнього згоряння. Надалі з'являються дизельні двигуни, розвивається повітряний транспорт, який, взявши на озброєння в 50–ті роки реактивні двигуни, надовго зайняв провідне місце серед джерел шумового забруднення навколишнього середовища.

Довгий час шум вважався неминучим супутником розвитку техніки і успіхів технології. Тому до середини XIX століття були відсутні систематизовані пізнання про шум, і боротьба з ним не виходила за рамки, які безпосередньо підказував здоровий глузд. Мало хто припускав, що рівні шуму досягнуть таких значень, які стануть небезпечними для функціонування живих організмів.

Сьогодні шум – один із важливих факторів шкідливого впливу нашої цивілізації на довкілля, він небезпечний не менше, ніж забруднення повітря або води.

В звуковому ландшафті сучасного міста звуки присутні постійно, цілком заповнюючи акустичне середовище. Щоб розчути окремі звукові сигнали, що несуть необхідну інформацію, людина повинна напружувати свій слуховий апарат.

Незважаючи на те, що людина до певної міри має властивість слухової адаптації, тобто органи слуху можуть пристосовуватись до шумів, це не врятовує її від втрати слуху та інших патологічних процесів в організмі, пов'язаних з дією шуму.

Шумом прийнято називати будь-які небажані звуки різної частоти та інтенсивності, які заважають трудовій діяльності чи відпочинку людей і чинять несприятливий вплив на живі організми.

За фізичною суттю шум – це механічні коливання часток пружного середовища (газу, рідини, твердого тіла), які виникають в результаті діяння

будь-якої збурюючої сили. При цьому звуком називають регулярні періодичні коливання, а шумом – неперіодичні, випадкові коливальні процеси.

Акустичні коливання в діапазоні частот 16...20000 Гц, які сприймає людина з нормальним слухом, називають звуковими, а простір де вони поширюються, – звуковим полем. Акустичні коливання з частотами до 16 Гц називають інфразвуком, вище 20 кГц – ультразвуком.

Основними характеристиками звукових хвиль є частота f (Гц); довжина хвилі λ (м); інтенсивність I (Вт/м^2) – густина потоку звукової потужності, що приходиться на одиницю площі, перпендикулярної до напрямку розповсюдження хвилі; звуковий тиск P (Па) – змінна надмірного тиску, який виникає в результаті коливань джерела звуку.

Зв'язок між інтенсивністю та тиском визначається виразом: $I = P^2/\rho a$, де ρ – густина середовища, кг/м^3; a – швидкість звука, м/с.

Швидкість звука залежить від властивостей середовища:

$$a = \sqrt{kRT},$$

де k – показник адіабати (для повітря k = 1,4); R – універсальна газова стала (для повітря R = 287,3 Дж/кг·К); T – температура середовища (К).

Джерелами шуму та інфразвуку можуть бути коливання, що виникають при співударі, терті, ковзанні твердих тіл, витіканні рідин та газів.

В виробничих умовах джерелами коливань є працююче виробниче устаткування (електричні та пневматичні пилки, відбійні молотки, перфоратори, клепальні засоби, електродвигуни та генератори, турбіни, компресори, ковальсько-пресове, під’ємно-транспортне устаткування, вентилятори, кондиціонери і таке інше.

Джерелами шуму є транспортні засоби (автомобілі, літаки, трамваї, тролейбуси, залізничний транспорт), джерелами звукового удару є повітряні кораблі чи тіла, що рухаються з надзвуковою швидкістю і створюють стрибки ущільнення.

Інтенсивність звука та звуковий тиск можуть змінюватись в дуже великих межах. Так, людина може сприймати звуковий тиск в діапазоні від 200 до $2 \cdot 10^{-5}$ Па, інтенсивність звука при цьому може змінюватись в межах від 100 до 10^{-12} Вт/м^2.

Такими значеннями характеристик шуму на практиці користуватись не зручно, тому в технічній акустиці прийнято використовувати відносні логарифмічні величини – децибели.

Рівень інтенсивності звуку в дБ

$$L_1 = 10\lg I/I_0$$

де $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м^2 – порогова інтенсивність, найменша, яку тільки здатна сприймати людина.

З врахуванням зв'язку між інтенсивністю і звуковим тиском рівень звукового тиску в дБ

$$L_p = 10\lg(P/P_0)^2 = 20\lg P/P_0.$$

де $P_0 = 2\cdot10^{-5}$ Па – пороговий тиск, що відповідає пороговій інтенсивності $1\cdot10^{-12}$ Вт/м^2.

Залежність звукового тиску від часу у вигляді суми кінцевого чи нескінченого числа синусоїдальних коливань називається частотним спектром. При частотному аналізі найчастіше використовують октавні чи треть-октавні смуги частот. Октавна смуга частот визначається таким співвідношенням частот, коли верхня гранична частота вдвоє більша від нижньої граничної частоти. Для треть-октавної смуги частоти це співвідношення складає $2^{1/3} \approx 1{,}26$.

За характеристику постійного шуму, а також для визначення ефективності заходів, спрямованих на зниження його негативного впливу, приймаються рівні звукового тиску в децибелах в октавних смугах зі середньогеометричними частотами (Гц): 31,5; 63; 125; 250; 1000; 2000; 4000; 8000.

Характеристикою непостійного шуму є інтегральний параметр – еквівалентний рівень звука в дБА. Як характеристику непостійного шуму допускається використовувати дозу шуму чи відносну норму шуму, тобто значення рівня за певний час (за 8 годин робочої зміни), осереджений за правилом однакової енергії. Доза шуму Д (Па^2·год) встановлює кількісну характеристику шуму за час його дії (кумуляцію шумового діяння) і визначається за формулою:

$$Д = \int_O^T (P_A)^2\, dt,$$

де P_A – значення звукового тиску з врахуванням корекції А шумоміру, Па; t – час діяння шуму в годинах.

При одночасній дії кількох джерел n шуму, які створюють в одній точці рівень звукового тиску L_1, сумарний рівень шуму L_c може бути визначений за формулою:

$$L_c = L_1 + 10\lg n$$

При діянні двох різних за інтенсивністю джерел $L_1 > L_2$ сумарний рівень шуму визначається за допомогою виразу:

$$L_c = L_1 + \Delta L,$$

де ΔL – поправка, яка залежить від різниці рівнів $L_1 - L_2$ (табл.1.11).

Таблиця 1.11

Поправка при визначенні сумарного рівня шуму двох джерел з різними інтенсивностями

$L_1 - L_2$	0	1	2	4	6	8	10	15	20
ΔL	3	2,5	2	1,5	1	0,6	0,4	0,2	0

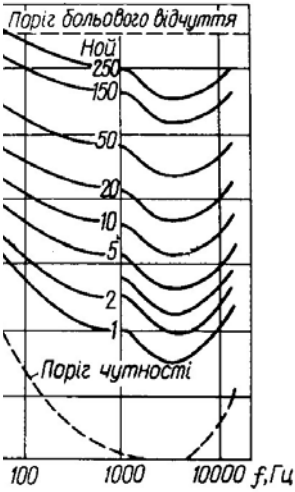
При великій кількості різних джерел сума їх визначається послідовно складанням рівнів двох джерел, починаючи з найбільш інтенсивного джерела.

Наведені дані приводять до висновків:

– при дії кількох джерел шуму усунення одного – двох джерел практично не зменшує рівень шуму;

– для суттєвого зниження шуму необхідно зменшувати шум в першу чергу найбільш інтенсивних джерел.

Рівень інтенсивності звука в децибелах не дозволяє судити про те фізіологічне сприйняття гучності, яке цей звук викликає. Чутливість слухового аналізатора людини неоднакова до звуків різних частот, тому звуки однакової інтенсивності, але різні за частотами, можуть сприйматися на слух неоднаково шумними. Для порівняння гучності звуків, різних за частотним складом і рівнями,



. Криві однакової шумності

служить одиниця – ной. За один ной умовно приймається шумність звука з рівнем звукового тиску 40 дБ на стандартній частоті 1000 Гц (рис.1.10). Наведені на рис.1.10 криві однакової шумності можуть бути використані для оцінки шумозахисних засобів: так зміна рівня звукового тиску на 10, 20, 30 дБ і т.д. відповідає зміні гучності приблизно в 2, 4, 16 раз і т.д.

Основні джерела шуму в містах – це транспортні засоби. Найбільш сильний вуличний шум утворюють важкі вантажні автомобілі та автобуси. На другому місці – мотоцикли і мопеди, потім легкі вантажні та легкові автомобілі. На долю цих транспортних засобів сучасних великих міст припадає до 80 % енергії шуму.

Найбільші рівні шуму (90...95 дБА) відмічаються на магістральних вулицях міст при інтенсивному руху більше 1000...3000 транспортних одиниць за годину.

Джерелами шуму високої інтенсивності є рейсовий транспорт. Так, максимальний рівень звукового тиску на відстані 7,5 м від електропоїзду, що рухається, досягає 93 дБА. При русі поїздів метрополітену рівень шуму може досягати 80 дБА.

Зі всіх видів міського транспорту найбільш шумним є трамвай. При русі трамваю його металічні колеса створюють рівень шуму приблизно на 10 дБ вищий, ніж шини автомобіля при контакті з асфальтом. Трамвай створює шумові навантаження при роботі двигуна, відкриванні дверей, подачі звукових сигналів тощо.

Значне місце в шумовому режимі багатьох міст займає повітряний транспорт [2]. Джерелами шуму на території авіапідприємств і прилеглих до нього районів є авіаційні силові установки (СУ) з газотурбінними і поршневими двигунами; допоміжні силові установки (ДСУ) літаків та

агрегати запуску; спецмашини аеродромного обслуговування різного призначення, в тому числі теплові та вітрові машини, створені на базі авіадвигунів, що відпрацювали льотний ресурс; верстатне та технологічне устаткування виробничих процесів.

Акустична обстановка в районі аеропорту визначається режимом функціонування авіапідприємства; типами повітряних кораблів (ПК), що експлуатуються в аеропорту; діючими маршрутами прильоту та вильоту ПК; розташуванням житлової забудови відносно злітно-посадочної смуги, а також заходами, що проводить аеропорт з метою зниження несприятливого діяння авіаційного шуму на довкілля.

При польотах літака з надзвуковими швидкостями з'являється джерело шуму – звуковий удар. Сприймається звуковий удар, як 2,3 і більше імпульсів тиску з проміжками часу між ними близько 0,1–0,2 с.

При всяких механічних коливаннях великих мас, здійснюваних у пружному середовищі, виникає інфразвук. Джерелами інфразвуку можуть бути трансформатори, вентилятори, дизель-генератори – всі машини, що повільно обертаються. Інфразвук виникає при діянні поривів вітру на споруди, будівлі та машини з великою лобовою площею; при відкиданні великих мас повітря повітряними гвинтами; при взаємодії турбулентних потоків, які обтікають засоби транспорту, з їхніми корпусами; при взаємодії шасі транспортних засобів з поверхнями дорожніх покрить, а також при різних природних явищах – виверженнях вулканів, землетрусах, повенях, сильних штормах, смерчах і т.п.

При наземних випробуваннях авіадвигунів, зльотах і посадках ПК виникають складні акустичні коливання, які включають крім гучного високочастотного шуму також і ультразвуки низької частоти, що підсилюють шкідливий вплив на живі організми.

1.4.5. *Вплив шуму на людину і довкілля*

Кожна людина сприймає шум по-різному. Багато залежить від віку (максимальна чутливість слуху у людини – в віці 14–19 років), темпераменту, стану здоров'я, навколишнього середовища.

Найбільш чутливі до дії шуму діти та люди похилого віку. У школярів, які вчаться в умовах проникаючого шуму вище 45 дБА, спостерігається зниження слухової чутливості внаслідок втомлюваності органів слуху, порушення дії вегетативної системи, у дітей відмічаються підвищена стомлюваність та головні болі [2].

Шум є одним з найбільш сильних подразнювачів в нічний час: він порушує сон та відпочинок людини.

Дослідження впливу шуму на живі організми засвідчили розвиток у них загальної неспецифічної реакції, яка характеризується зниженням споживання кисню всіма тканинами головного мозку, дистрофічними змінами в мозку та внутрішніх органах, появою судинних розладів, біохімічними змінами у внутрішніх органах, що свідчить про напруженість захисно-пристосувальних сил організму.

Специфічним діянням шуму є діяння його на слуховий аналізатор.

При діянні звуку має місце фізіологічне явище пристосування чутливості слухового аналізатора до різних рівнів сили звуку – адаптація, яка грає захисну роль: слухова чутливість знижується приблизно на 10 дБ, внаслідок чого менше звукової енергії попадає у внутрішнє вухо, де розташований слуховий аналізатор людини. При тривалому діянні інтенсивних звуків наступає слухова втома. В виникненні слухової втоми приймає участь центральна нервова система. Слухова втома визначається тимчасовим погіршенням слуху. Подібне явище спостерігається, наприклад, після діяння авіаційного шуму.

Стійка втрата слуху – глухота виникає внаслідок тривалого (5–8 років) впливу шуму і недостатнього відпочинку для повного відновлення слуху.

В індустріальному світі прийнято вважати, що з віком неминуче відбувається втрата слуху. Однак дослідження, здійснені в районі поселення племені маба в Судані, виявили вражаючий факт – у представників цього племені, які проживають в тихому акустичному оточенні, майже не спостерігається випадків погіршення слуху, пов’язаного з віком.

Порівняльні обслідування населення західних країн та Африки показали, що слухові сприйняття 80-річного жителя Центральної Африки такі ж, як і у 18-річного ньюйоркця. Звідси висновок: природну вікову втрату слуху може суттєво прискорити несприятливе звукове оточення.

При тривалому діянні шуму навіть невеликих рівнів слуховим змінам передують зміни в інших функціональних системах організму, в першу чергу в центральній нервовій системі. В основі цих змін лежать зміни активності мозкових клітин, порушення режиму їх роботи внаслідок широкого поширення збудження із слухового аналізатора по всьому головному мозку. Це призводить до порушення сну, підвищеної втомлюваності,

роздратованості, зміни психіки, що виявляється в пригніченому настрої, емоційній неврівноваженості.

Під впливом шуму збуджуються центри головного мозку, регулюючі функції залоз внутрішньої секреції і біоритми, що може призвести до зміни частоти ударів серця за хвилину, частоти дихання, кров'яного тиску, викликати зміни в крові і розширення зіниць.

Шум сприяє розвитку гіпертонічної хвороби, захворюванням виразки шлунку та дванадцятипалої кишки. Високі рівні шуму, наприклад, шуму реактивних літаків понад 120 дБ можуть стимулювати подразнення вестибулярного апарату, виникає головокружіння.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ) шум діє як відволікаючий подразнювач, він може заважати сприйняттю мови, впливати на розумову діяльність, погіршуючи процеси збору та обробки інформації, впливати на психофізіологічний стан людини.

При наявності шуму зростає приблизно на 15 % загальна захворюваність людини. При кожному збільшенні на 10 дБ захворюваність збільшується в 1,2–1,3 рази, знижується продуктивність праці. В умовах шуму (наприклад, в лікарні, розташованій поблизу аеропорту) одужування хворих проходить повільніше і гірше. Траплялись випадки, коли у жінок, що працювали в період вагітності в шумних умовах, народжувались діти з порушенням слуху.

За даними ВОЗ приблизно 40–45 % населення відчувають шкідливе діяння шуму, 10 % мають підвищену чутливість до шуму, в них швидко розвивається шумова хвороба.

Надзвичайно шкідливий вплив на живі організми викликає інфразвук.

Інфразвукові коливання передають інформацію про подразнювачі в нервові центри і викликають рефлекторні реакції інших органів та систем. Цим шляхом механічна енергія інфразвуків перетворюється в теплову та частково в енергію біохімічних і біоелектричних процесів, що характеризують відповідну реакцію живого організму на інфразвуковий подразнювач. Найбільш фізіологічно активними для живого організму є частоти від 2 до 17 Гц внаслідок резонансних явищ внутрішніх органів.

Звуковий удар, що виникає при польотах надзвукових літаків, може викликати у людей та тварин роздратування від слабкої психофізіологічної реакції до захисно-оборонних реакцій (переляку, здригання, пробудження від сну тощо). При діянні звукового удару лякаються діти, школярі відволікаються від занять. Звуковий удар в зонах інтенсивного звучання

може викликати зниження працездатності людини, особливо при виконанні робіт, що потребують напруженої уваги, точних рухів та акуратності. Звуковий удар може спричинити сходження снігових лавин в гірських районах. Чутливі до звукового удару скакові коні, олені, морські тварини.

Звуковий удар супроводжується вібраціями елементів конструкцій і вікон, їх руйнуванням.

1.4.6. *Нормування акустичного забруднення довкілля*

Для захисту людей від шкідливого впливу міського шуму необхідно регламентувати його інтенсивність, спектральний склад, час дії тощо. При гігієнічному нормуванні за граничний приймається такий рівень, діяння якого впродовж тривалого часу не викликає змін у всьому комплексі фізіологічних показників, що відображають реакції найбільш чутливих до шуму систем організму.

Розроблені санітарні норми допустимого шуму для житлових і громадських споруд та для території житлової забудови [2], а також державні стандарти на засоби пересування, інженерне устаткування, побутові прилади, в основу яких покладені гігієнічні вимоги щодо забезпечення акустичного комфорту.

Для легкових автомобілів зовнішній шум не повинен перевищувати 84 дБА, для вантажних автомобілів та автобусів – 85...92 дБА, мотоциклів – 80...86 дБА, допустимі рівні внутрішнього шуму відповідно складають: для легкових автомобілів – 80 дБА, кабін чи робочих місць вантажівок, автобусів – 85 дБА, пасажирських приміських автобусів – 75...80 дБА.

В шумовому режимі великих міст значне місце займає повітряний транспорт. Шкідливій дії авіаційного шуму піддаються працівники, що безпосередньо зв’язані з експлуатацією авіаційної техніки, пасажири повітряного транспорту, працівники підприємств ЦА, які знаходяться на території чи поблизу аеропорту, а також відвідувачі аеропорту та населення, що мешкає поблизу аеропорту.

При нормуванні авіаційного шуму існує два різних підходи. В першому – допустимі рівні встановлюються з врахуванням санітарно-гігієнічних вимог при умові відсутності несприятливого діяння шуму на людину (санітарно-гігієнічне нормування).

У відповідності з другим підходом нормування шуму встановлює норми шуму ПК з врахуванням сучасних досліджених і технічно обґрунтованих способів зниження шуму при авіатранспортних процеса.

Нормування авіаційного шуму на території житлової забудови здійснюється у відповідності з державним стандартом [3], який визначає обмеження максимального значення рівня шуму L_A при одиничному прольоті ПК, а також еквівалентного рівня шуму $L_{екв,}$ що враховує максимальні рівні шуму, кількість і тривалість дії авіаційного шуму (табл.1.12).

Оскільки несприятливі дії авіаційного шуму вдень і нічний час відрізняються, допустимі значення встановлюються роздільно для денного і нічного часу (табл.1.12).

Таблиця 1.12

Допустимі значення рівнів шуму на території житлової забудови

доби	L_A, дБА	$L_{екв}$, дБА
^{00}–23^{00}	85	65
^{0}–7^{00}	75	55

Шум сучасних дозвукових літаків з реактивними двигунами регламентується міжнародним стандартом ІКАО [2], а також національними стандартами.

Згідно з вимогами стандартів норми шуму в залежності від злітної маси літаків встановлюються в трьох контрольних точках (рис.1.11): при зльоті на відстані 450 м від осі ЗПС (для літаків нових типів) чи 650 м (для дозвукових літаків старих типів та надзвукових транспортних літаків) в місці виникнення максимального шуму; при наборі висоти на віддалі 6500 м від початку розбігу літака; при посадці по осі злітно-посадочної смуги на віддалі 2000 м від ближнього порогу злітно-посадочної смуги при стандартній глісаді з нахилом 3° до горизонту.

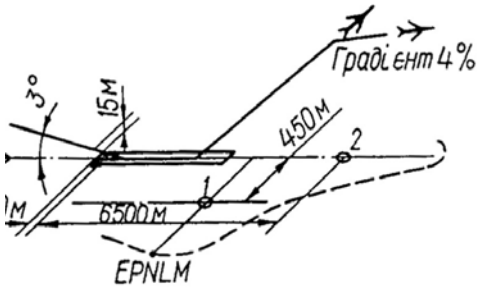


Рис.1.11. Схема розташування контрольних точок вимірювання шуму (1, 2, 3)

Діючі нормативи з шуму чітко регламентують не тільки допустимі рівні шуму, а й методики його вимірювання, режими польотів при сертифікаційних випробуваннях, а також обробку результатів та їх приведення до вихідних умов.

Для ПК легкої злітної маси шум обмежується в одній контрольній точці під траєкторією горизонтального прольоту ПК на висоті 300 м при максимальному режимі роботи авіадвигунів. Рівень шуму таких ПК не повинен перевищувати 80 дБА.

Надзвукові транспортні літаки (НТЛ) до цього часу не знайшли широкого використання. Враховуючи обмежені можливості зниження шуму цих літаків без значного погіршення їх льотно-технічних характеристик, для літаків такого класу розробляються окремі нормативні вимоги.

В ультразвуковому та інфразвуковому діапазонах шуму існують нормативи тільки для виробничих умов.

1.4.7. *Методи та засоби зниження шкідливого впливу шуму на людину та природне середовище*

Зниження шуму в джерелі його утворення є найбільш ефективним заходом боротьби з ним, тому при проектуванні чи виборі станків, машин, устаткування (вентиляторів, компресорів, насосів, двигунів, генераторів тощо) необхідно врахувати режим їх роботи та акустичні характеристики. Так, зменшити шум можна використанням вентилятора з невеликою частотою обертання. Підвищення рівня шуму часто спричинюється дефектами, що виникають при експлуатації механічного устаткування: порушення балансування елементів, що обертаються, недопустимого зношування деталей, недостатнього змащування тощо.

Для зниження вібрації механічне устаткування встановлюють на фундаменти з амортизуючими прокладками. Вентилятори чи насоси, наприклад, закріплюють на пружинних віброізоляторах. Фундамент для стаціонарно встановленого устаткування необхідно розташовувати на грунті ізольовано від будівельних конструкцій, особливо це стосується важкого механічного устаткування. До комунікацій механічне устаткування повинно приєднуватись за допомогою гнучких вставок.

Якщо технологічний процес та умови експлуатації дозволяють, то устаткування слід поміщати в звукоізолюючі кожухи, наприклад, з пенополіуритану. Кожух встановлюють на гумових прокладках, не допускаючи його зіткнення з устаткуванням.

Для зниження рівня вібрації від приводу устаткування стінки захисного кожуху покривають вібродемпфіруючим матеріалом. Кожухи можуть бути з'ємними чи розбірними, можуть мати оглядові вікна та отвори для комунікацій чи для проходження повітря, що охолоджує закрите кожухом устаткування. В цих випадках отвори слід обладнати глушителями шуму із звукопоглинаючого матеріалу.

В автомобілях звукопоглинаючими матеріалами покривають стінки, днище, багажник і місце розташування двигуна. При цьому шум знижується не тільки в салоні чи в кабіні водія, а і в навколишньому середовищі.

При проектуванні промислових підприємств і громадських будівель устаткування, яке є джерелом шуму, розміщують в ізольованих приміщеннях.

Для зниження інтенсивності відбитих звукових хвиль здійснюють акустичну обробку приміщень. Щоб запобігти відбиттю звука, стелю, стіни, підлогу тощо покривають звукопоглинаючими матеріалами.

Зниження рівня шуму ΔL після акустичної обробки визначається формулою:

$$\Delta L = 10\lg(A_2/A_1),$$

де $A_1 = a_1S_1$ – еквівалентна площа звукопоглинання до обробки; (a_1 – коефіцієнт звукопоглинання, визначається відношенням інтенсивностей поглиненої та падаючої звукових хвиль; S_1 – площа, яка сприймає звукові хвилі); $A_2 = a_2S_2$ – еквівалентна площа звукопоглинання після акустичної обробки (a_2 – коефіцієнт звукопоглинання звукопоглинаючого матеріалу; S_2 – площа, що підлягає акустичній обробці).

Якщо одержане зниження шуму недостатнє, тоді встановлюють над джерелами шуму штучні звукопоглиначі чи застосовують екрани між джерелом шуму і робочим місцем, яке захищається від шуму.

Для зниження шуму теплових, компресорних станцій, газодинамічних установок на вихідних патрубках встановлюються глушителі шуму різних конструкцій. Це можуть бути, наприклад, дві концентрично розташовані труби, простір між якими заповнюється мінераловатними матами з оболонкою з металічної сітки. Такий глушитель може знижувати рівень шуму на 20...25 дБ у всьому діапазоні частот. Прикладом подібного глушителя може бути також компресорний глушитель бутовокамерного типу, що являє собою камеру, розташовану в землі, стінки її цегляні, а стеля і підлога – залізобетонні. В камері на швелерах встановлені дві стальні решітки, покриті шаром буту. В нижню зону глушителя підводиться перфорована труба, через яку поступає стисле повітря від компресора. Проходячи через розширювальну камеру та два шари бутової засипки, повітря втрачає свою енергію і виходить в атмосферу практично безшумно.

Для зниження шуму в житлових будинках, що виникає при роботі систем водопостачання, слід використовувати обмежувачі тиску, які одночасно сприяють зменшенню втрат води, а також більш досконалу водорозбірну арматуру.

Для запобігання шуму при закриванні дверей промисловістю випускаються спеціальні пружини, що забезпечують плавне прикриття дверей.

Зниження шуму від ліфтових установок в житлових будинках досягається виносом ліфтових шахт за межі зовнішніх стін будівлі, використанням розсувних дверей з амортизуючими прокладками, віброізоляцією механізмів, старанним регулюванням окремих вузлів і механізмів, наприклад, шляхом центрування та балансуванням елементів лебідки та електродвигуна.

Серед заходів, що зменшують проникнення шуму в будинки, слід відмітити:

- зменшення поверхні вікон будівлі;
- герметизація вікон;
- надійне закріплення вікон у рамах;
- застосування потрійного скла;
- збільшення товщини стекол і відстані між ними;

– встановлення на вході в будинок подвійних дверей з тамбуром, облицьованими звукопоглинаючими матеріалами;

– наявність екрануючих елементів в населених пунктах і на території промислових підприємств;

– віддаленість джерел шуму від житлової забудови;

– архітектурно-планувальні акустичні вирішення житлової забудови;

– транспортні розв'язки, використання вулиць без перехресть.

Велике значення для зменшення шуму від транспортних потоків в містах має ширина вулиць. Так, при її збільшенні з 20 до 40 м загальний вуличний шум знижується на 4–6 дБ. Зелені насадження також знижують шум на 8–10 дБ.

У боротьбі з транспортним шумом використовують і організаційні засоби: заборона звукових сигналів, польотів над містом ПК тощо.

Найбільш повне уявлення про шумові навантаження на довкілля дають шумові карти міста або підприємства, що є основою для розробки заходів щодо зниження шуму. Карти вміщують інформацію про розташування промислових і транспортних підприємств, густоту населення, інтенсивність і швидкість руху транспортних засобів, типи будівель, експлуатаційні характеристики джерел шуму тощо. На карту міста наносяться джерела шуму з їх рівнями, одержаними шляхом натурних вимірювань. За допомогою таких карт можна визначити шумовий режим на транспортних магістралях і територіях житлової забудови, визначити найбільш небезпечні в акустичному відношення райони міста. Шумова карта дає можливість встановити фактори, що впливають на акустичний режим, рекомендувати заходи щодо зниження впливу шуму на довкілля, прогнозувати рівні шуму на житловій території міста при розробці комплексних містобудівних заходів.

Проблема зниження впливу авіаційного шуму на людей залишається достатньо гострою. Найбільш ефективним є комплексний підхід до вирішення цієї проблеми. При цьому передбачаються впровадження в експлуатацію малошумних літаків; застосування спеціальних експлуатаційних прийомів при зльоті і посадці; раціональна організація наземної і льотної експлуатації, вдосконалення систем управління повітряним рухом; застосування будівельно-планувальних заходів; регламентація та впровадження систем контролю авіаційного шуму.

Названі методи забезпечують зниження шуму як в джерелах його виникнення (за рахунок розробки літаків більш досконалої конструкції), так і при його розповсюдженні (наприклад, застосуванням спеціальних прийомів пілотування) та сприйнятті (організаційні заходи, засоби індивідуального захисту від шуму тощо).

Оскільки основними джерелами шуму літаків є їх силові установки, то найбільш ефективні методи зменшення шумового забруднення довкілля пов'язані з вдосконаленням авіаційних двигунів, їх робочого процесу, конструкцій, застосуванням засобів шумоглушення .

Зниження шуму авіадвигунів здійснюється як шляхом доопрацювання існуючих силових установок, так і створення нових малошумних авіаційних двигунів. При конструюванні нових двигунів можна передбачити такі додаткові протишумові заходи як установку сопел з шумоглушниками, регулювання площ перерізу реактивних сопел, акустичну обробку вхідних і вихідних каналів вентилятора, мотогондоли тощо.

2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТІВ І ВИРОБІВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Поняття "ракетно-космічна техніка" (РКТ) охоплює: космодроми (технічні і стартові комплекси, заправочно-нейтралізаційні станції (ЗНС), паливосховища тощо), засоби виведення – ракети-носії (РН) та розгінні блоки (РБ), космічні апарати (КА) та орбітальні станції, райони падіння частин, що відокремлюються (ЧВ), командно-вимірювальні комплекси (КВК).

2.1. Вплив космодромів на навколишнє природне середовище

Ракетно-космічна діяльність відображається на стані навколишнього природного середовища (НПС) насамперед в районі розташування космодромів і чинить на НПС специфічну дію, характерну для такого роду об'єктів, а також неспецифічну дію, яка не відрізняється від загальнопромислової .

Специфічні дії космодрому на природні територіальні комплекси (екосистеми) [1]:

– хімічне забруднення природного середовища високотоксичними ракетними паливами;

– механічне забруднення обширних територій металічними фрагментами ступенів РН, що відпрацювали, насамперед в районах падіння (РП) частин, що відокремлюються;

– локальне руйнування озону вздовж траєкторії польоту РН та утворення “озонових дірок”;

– електромагнітна локальна дія НВЧ- і УВЧ-випромінювань в районах розміщення радіотехнічних систем (РТС) командно-вимірювального пункту (КВП) космодрому.

– До неспецифічних дій космодрому на наземні екосистеми відносяться:

– хімічне забруднення грунту вуглеводнями, в тому числі нафтопродуктами, та вуглеводневим паливом, що використовуються в РКТ;

– хімічне забруднення атмосфери газовими викидами, характерними для об’єктів тепло- та електропостачання, транспорту, підприємств побутового обслуговування, будівельної індустрії, місцевої промисловості;

– руйнування природних ландшафтів (вирубування лісів, зняття верхнього шару грунту тощо), особливо при будівництві космодрому і розвитку наземної інфраструктури;

– забруднення водних об’єктів побутовими стоками.

2.1.1. *Джерела і види можливої дії на природне середовище*

Основними джерелами техногенної дії на природні комплекси космодрому є (рис.2.1): стартові комплекси (СК), заправочно-нейтралізаційні станції (ЗНС), сховища компонентів ракетних палив (КРП), киснево-азотний завод (КАЗ), вимірювальний пункт (ВП), об’єкти тепло- та енергопостачання, склади паливно-мастильних матеріалів (ПММ), транспорт, підприємства побутового обслуговування, будівельної індустрії і місцевої промисловості, очисні споруди, звалища і полігони захоронення твердих побутових відходів, а також джерела забруднень, розташовані за межами позиційного району космодрому (за рахунок вітрових переносів забруднювачів на далекі відстані).

Дія космодрому на природний комплекс виявляється у викиді в навколишнє середовище газоподібних, рідких і твердих забруднювачів, в

споживанні природних ресурсів на промислові, господарські і побутові потреби, а також в зміні потоку енергії, яку отримує природний комплекс.

Приблизне співвідношення між вищезгаданими джерелами забруднення за кількісними характеристиками дії на природний комплекс під час штатної експлуатації (експертна оцінка з досвіду космодромів Плєсецьк і Байконур, без врахування трансграничних переносів забруднень і викидів транспорту) подано в табл.2.1.

Космодром, крім КРП та їх похідних, здійснює викиди в природний комплекс NO_2, CO, H_2SO_4, HNO_3, NaOH, NH_3, I, C_2H_4, а також в незначних кількостях Va_2O_5, синильної кислоти, фторидів, окислів хрому, марганцю і його сполук, акролеїну, зважених часток, оксидів олова та інших металів.

Як видно з рис.2.1, основний вклад в забруднення природних комплексів космодрому вносять об’єкти інфраструктури. Так, на космодромі Плєсецьк викиди котельних складають понад 30 % всіх викидів в атмосферу (серед них сірчаний ангідрид, окис вуглецю, окисли азоту, зважені частки, п’ятиокис ванадію).

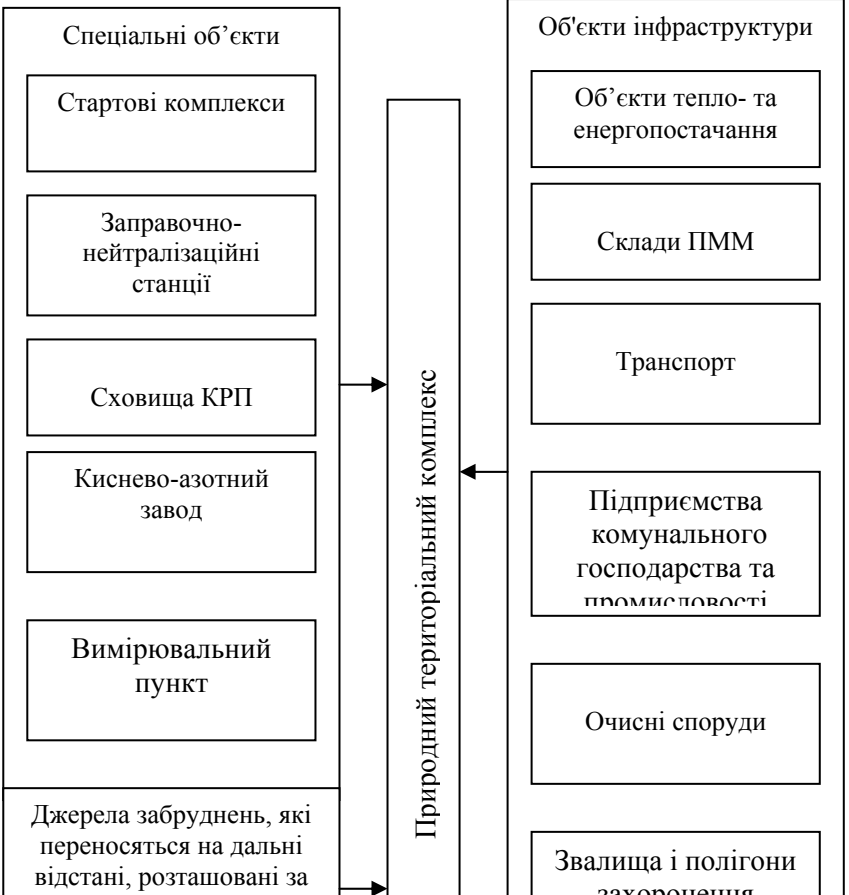


Рис.2.1. Джерела дії космодрому на природні територіальні комплекси

Таблиця 2.1

Відносний вклад джерел забруднення в дію на екосистему, яка містить космодром

Вид дії	ний вклад джерел забруднення в дію на природні територіальні комплекси космодрому, %				
	СК	ВНС ловища КРП	АЗ	І	б'єкти структури
Забруднення атмосфери	0,3	1,2	,0	)	84,5
Споживання і забруднення води	6,0	8,0	2,0	)	60,0
Захоронення відходів	),3	0,2	),1	1	99,1

Практично на всіх мазутосховищах, обладнаних при котельних на космодромах, спостерігаються скиди мазуту і конденсату, що містить нафту, на рельєф місцевості в кількостях до 200-300 т. Проливи токсичних КРП складають значно менші кількості: наприклад, в штатних режимах заправки РН "Космос-3М" відбуваються проливи несиметричного диметилгідразину (НДМГ) до 0,2 кг, азотного окислювача АК-27И – до 0,2 кг.

До ресурсів, які споживає космодром, в основному відносяться вода і в деяких випадках – ліс. Спеціальні об’єкти космодрому (СК, ЗНС, сховища КРП), як джерела дії на екосистему, специфічні для космодрому лише в аварійних ситуаціях і під час проведення пусків. В цих випадках можливі викиди в екосистему рідкого кисню, вуглеводневих палив (РГ-1 – нафтилу, гасу Т-1 та ін.), азотних окислювачів, гідразинових палив, перекису водню, продуктів їх горіння і розкладу.

При проливах на грунт гідразинові палива тривалий час зберігаються в ньому, а при повторних проливах накопичуються і забруднюють воду підземних водоносних горизонтів.

Продуктами неповного розкладу і окислення гідразинових палив є високотоксичні сполуки; деякі з них, наприклад, нітрозодиметиламін (НДМА), більш токсичні, ніж саме паливо. Інші сполуки – метилендиметилгідразин, тетраметилтетразен, формальдегід, синильна кислота – відносяться до другого та третього класів небезпеки.

Важливий вклад в погіршення екологічного стану екосистем може вносити трансграничне перенесення забруднення від джерел, які знаходяться за межами позиційного району космодрому. Так, на космодромі Плєсецьк мають місце трансграничні переноси забруднених повітряних мас з боку Архангельського, Череповецького і Кольського промислових вузлів, Савінського цементного заводу і Североонезьких копалень. На космодромі Байконур виділяється велика кількість енергії – теплової (під час пуску РН, роботи об’єктів тепло- та енергопостачання) та у вигляді електромагнітного (при роботі КВК) випромінювання.

2.1.2. *Потенційні екологічні наслідки дії космодрому на природні комплекси*

Екологічні наслідки дії джерел забруднення на природні комплекси суттєво залежать від природно-географічних умов, характерних для району розташування конкретного космодрому.

При вивченні екологічних наслідків дії космодрому на природні комплекси необхідно уточнювати границі дії, яка розглядається. З цією метою доцільно використати поняття природно-територіального комплексу (ПТК) – одне з основних понять фізичної географії, яке широко застосовується в екології, ландшафтознавстві та загальному ґрунтознавстві [1].

ПТК – це закономірне поєднання природних компонентів, які утворюють середовище і мають властивості ізотропності і функційної цілісності. Компоненти ПТК – це конкретна ділянка земної кори з властивим їй рельєфом, поверхневі і підземні води, грунти, угруповання живих організмів і приземний шар атмосфери. Це означає, що замість поняття ПТК можна використовувати поняття екологічної системи, яке визначає взаємопов'язану сукупність живих організмів і середовище їх мешкання, тобто поняття ПТК та екосистеми схожі.

Однак у випадку проведення будь-яких кількісних оцінок виникає питання про точне визначення границь екосистеми. Як відмічається в [1], мінімальний розмір екосистеми визначається простором (об'ємом), при наявності якого можливе здійснення процесів саморегуляції і самовідновлення сукупності компонентів, що складають екосистему. Для екосистем вищих і нижчих рівнів такий підхід дозволяє визначити границі порівняно легко (наприклад, для екосистем вищих рівнів – тайги, тундри, пустелі тощо; для екосистем нижчих рівнів – ставка, стовбура гниючого дерева, мурашника і т.ін.), але для екосистем середніх рівнів цей підхід не завжди може бути застосованим.

Таким чином, різниця ПТК від поняття екосистеми виявляється в тому, що природний комплекс географічно чітко і функційно зумовлено задачами, що вирішуються, виділяється із навколишнього природного середовища. Таке виділення відбувається в процесі вирішення кожної конкретної задачі за допомогою фізико-географічного районування. Загальні екосистемні закони при цьому вірні і для ПТК.

Аналіз екологічних наслідків дії космодрому на ПТК свідчить, що небезпека для природного середовища, включаючи біоту, і для людини, як частини біоти, різна (табл.2.2).

Аналіз даних, наведених у табл.2.2, показує:

1) одна й та ж дія космодрому на ПТК має протилежні наслідки для людини і для біоти, особливо для рослинності (малі дози токсичних КРП, малі дози НВЧ- та УВЧ-випромінювань);

2) дії на ПТК, відносно безпечні для людини, завдають суттєвої шкоди біоті (руйнування природних ландшафтів, хімічне забруднення грунту вуглеводнями);

3) дії, специфічні для космодрому в цілому, слабо впливають на екологічну ситуацію в ПТК.

На територію космодрому доступ обмежений, тому кількість населення, яке постійно там мешкає, незначна. Для забезпечення безпеки людей приймаються відповідні організаційні і технічні заходи. Як відмічалося вище, екологічні наслідки дії космодрому на ПТК залежать від природно-географічних умов, які визначають здатність природного комплексу протистояти шкідливим техногенним діям. Так при пусках РН, роботі котельних і ТЕЦ можливе утворення і випадіння кислотних опадів, безумовно шкідливих в умовах космодрому Плєсецьк, де від них страждають природні комплекси, що сформувалися на підзолистих грунтах [1]. Однак на напівпустельні та пустельні ландшафти космодрому

Таблиця 2.2

Екологічні наслідки дії космодрому на природний територіальний комплекс (ПТК)

Вид дії	Потенційно екологічні наслідки	
	для біоти ПТК	для людини
Хімічне забруднення природного середовища високо-токсичними ракетними паливами	У малих дозах – підвищення біопродуктивності рослин і ґрунтової мікрофлори; для тварин – інтоксикація організму, у великих дозах – смерть.	Інтоксикація організму, у великих дозах – набряк легенів, смерть
Механічне забруднення РП ОВ РН металевими фрагментами ступенів РН, що відпрацювали	Незначне зниження біопродуктивності рослинності внаслідку попадання в грунт алюмієвих сплавів	Зниження господарської, рекреаційної цінності земель та порушення естетики ландшафту
Локальне руйнування озону по траєкторії польоту РН та виникнення “озонових дір”	Зниження біопродуктивності як тваринної, так і рослинної біомаси	Деяке підвищення вірогідності ракових захворювань шкіри та порушення зору (поки не виявлено)
Електромагнітна локальна дія НВЧ- та УВЧ-випромінювань в районах розташування РТС КВК космодрому	У малих дозах – підвищення біопродуктивності рослин, у великих дозах – тепловий опік	Радіохвильове захворювання, генетичні зміни (поки не виявлено)
Хімічне забруднення	Зниження	Зниження господар-

Закінчення табл. 2.2

Вид дії	Потенційно екологічні наслідки	
	для біоти ПТК	для людини
грунту вуглеводнями	біопродуктивності рослинної біомаси, міграція тварин із зон забруднення	ської, рекреаційної цінності земель і порушення естетики ланд-шафту, погіршення якості води та їжі
Хімічне забруднення атмосфери загальнопро-мисловими газовими відходами	Зниження біопродуктивності рослинної біомаси, зниження видового розмаїття	Інтоксикація орга-нізму, погіршення здоров'я, ураження систем та внутрішніх органів
Руйнування природних ландшафтів	Зниження біопродуктивності рослинної біомаси, зниження видового розмаїття, зміна водного режиму та клімату	Зниження господарської, рекреаційної цінності земель та порушення естетики ландшафту, порушення комфортності мешкання
Забруднення водних об'єктів побутовими стоками	Зниження біопродуктивності планктону та бентоса, зниження видового розмаїття	Погіршення якості питної води, погіршення здоров'я, ураження систем та внутрішніх органів

Байконур кислотні викиди можуть здійснювати позитивний вплив, збільшуючи рухливість катіоногенних елементів, необхідних рослинам в грунтах із слаболужною реакцією pH, і сприяючи розсолонцюванню солонців [1]. Має велике значення, куди надходять промислові і побутові стоки: в ріки, свердловини або на рельєф місцевості. Якщо забруднювана річка має повільну течію, невеликий річний стік, впадає в безстічну впадину (ріка Сир-Дар'я, в басейні якої знаходиться Байконур, впадає в Аральське море, не зв'язане з океаном), то в гирлі річки акумулюються рухомі техногенні токсичні речовини. Якщо річка має значний річний стік

і впадає в море або океан, то забруднюючі речовини розсіюються на великих просторах суші і океану до фонових концентрацій. Небезпека скиду стічних вод в свердловину або на рельєф місцевості визначається наявністю і характером підземних вод під місцем скиду або проливу: забруднювачі, що потрапили в грунт завдяки підземним водам, можуть опинитися в поверхневому водяному джерелі.

2.1.3. *Характеристики космодромів*

На цей час побудовані і експлуатуються космодроми в Росії, США, Франції, Китаї, Японії, Індії (рис.2.2). Є відомості про стартові комплекси для запусків РН в Ізраїлі, Північній Кореї. Будуються космодроми в Австралії, Канаді, Бразилії.

У цьому розділі наводяться основні характеристики космодромів, що використовуються найбільш інтенсивно (табл.2.3).

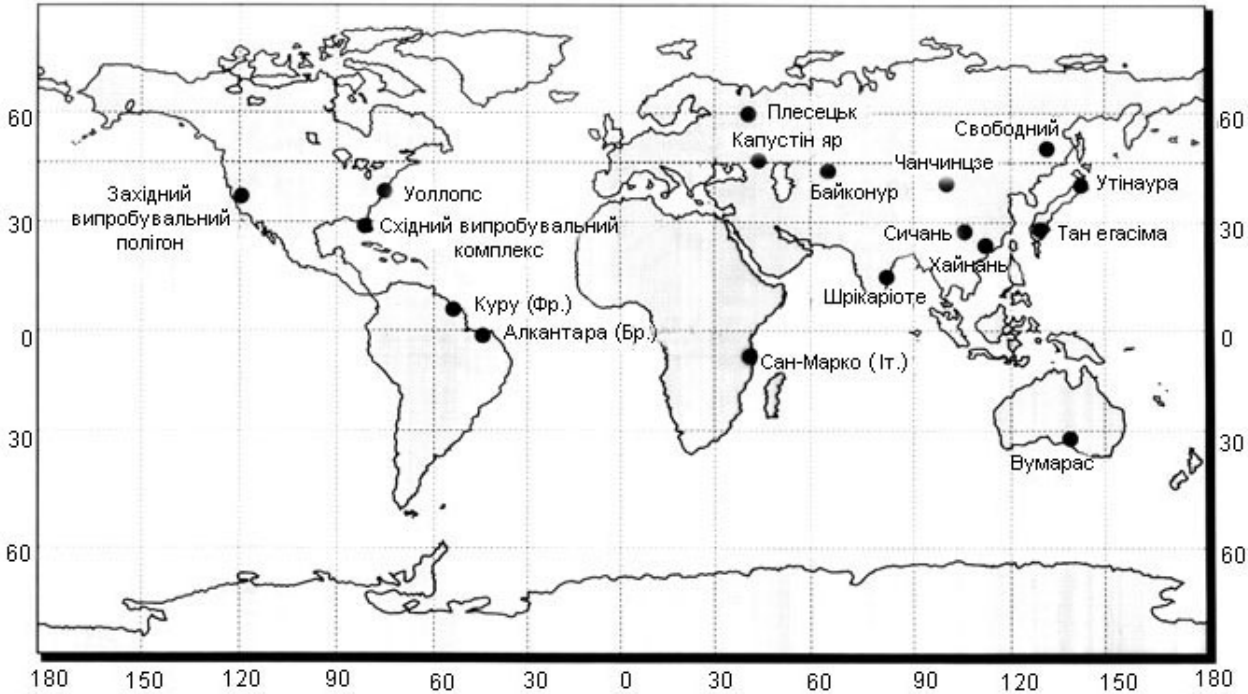


Рис.2.2. Розміщення космодромів світу

Таблиця 2.3

Основні характеристики існуючих космодромів

ром (країна)	Тип РН	цезнаходження (координати космодрому)	и пусків, ад.	роектні жливості одрому за и РН, РН/рік	Характеристики трас пусків
Байконур (Росія/ Казахстан)	“Союз-У”, “Молнія-М”, “Протон-К”, “Циклон-2”, “Зеніт-2”, “Стріла”, “Дніпро”	Приаральські Кара-Куми	- 195	150	Траси проходять над Казахстаном, Західним та Східним Сибіром. Райони падіння відпрацьованих перших ступенів і головних обтікачів розташовані в Тургайській, Кзил-Ординській, Кокчетавській, Акмолинській, Східно-Казахстанській, Джезказганській областях Казахстану, в Узбекистані, у Республіках Алтаю, Тува, Хакасія, Красноярському краї, а також у Тюменській, Томській, Омській та Новосибірській областях

Продовження таб.2.3

ром (країна)	Тип РН	цезнаходження (координати космодрому)	и пусків, ад.	роектні жливості одрому за и РН, РН/рік	Характеристики трас пусків
Плєсецьк (Росія)	“Союз-У”, “Молнія-М”, “Космос-3М” “Циклон-3”, “Рокот”, “Старт”	Територія Архан-гельської області	10 – 90	130	Траси проходять над територією Архангельської області, акваторією Північного Льодовитого океану та над північними областями Сибіру. Райони падіння відпрацьованих перших ступенів і головних обтікачів розташовані в акваторії Північного Льодовитого океану (Баренцове, Східно-Сибірське та Карське моря), а також у Архангельській та Томській областях, Ненецькому окрузі, Республіках Комі та Саха (Якутія)
Свободний (Росія)	“Старт”, “Стріла”	Територія Амурської області	97,51	–	Траси проходять над Примор’єм та Східним Сибіром. Райони падіння відпрацьованих перших ступенів та головних обтікачів розташовані в Амурській області та Республіці Саха (Якутія)

Продовження таб. 2.3.

ром (країна)	Тип РН	находження (координати космодрому)	ти пусків, рад.	роектні жливості модрому за ми РН, РН/рік	арактеристики трас пусків
Капустін Яр (Росія)	“Космос”	Територія Астраханської області, частина – на території Волгоградської області			Траси проходять над Астраханською та Волгоградською областями, а також над територією Республіки Казахстан
о. Уоллопс (США)	“Скаут-2”	о.Уоллопс і частково на східному узбереж-жі штату Віргінія, в 260 км від Вашингтону, 37°30' п.ш. 75°30' з.д.	85 – 129	30	
ЗВП ВПС (США)	“Скаут-2”, “Таурус”, “Дельта”, “Тітін-2”, МТКС “Спейс Шатл”	Західне узбережжя Північної Америки, 250 км від м. Лос-Анжелес (штат Ка-ліфорнія), 35°00' п.ш. 120°40' з.д.	140 – 208	75	Траси проходять в південному напрямку над Тихим океаном. РП ЧВ знаходяться в акваторії Тихого океану

Продовження таб. 2.3.

ром (країна)	Тип РН	ісцезнаходження (координати космодрому)	ути пусків, рад.	роектні жливості одрому за и РН, РН/рік	арактеристики трас пусків
СВП (США)	“Дельта-II”, “Титан-III”, “Титан-IV”,” “Атлас-1”	Східне узбережжя Північної Америки, мис Канаверал та о.Меррітт (штат Флоріда), 28°37' п.ш. 80°41' з.д.	35 – 120	20	Траси проходять в південно-східному напрямку над Атлантичним та Індійським океанами. З РП ЧВ: о-ви Гранд-Терра, о. Антігуа, о. Вознесіння
КЦ ім. Кеннеді (США)	МТКС “Спейс Шаттл”	Територія ВІП, 28°37' п.ш. 80°41' з.д.	35 – 120	50	
Куру (Франція)	“Аріан-4”, “Аріан-5”	Французька Гвіана, північно-західне узбережжя Південної Америки, 5°18' п.ш. 53°00' з.д.	350 – 93,5	24	Використовуються дві траси у напрямку Азорських та Бермудських о-вів

Закінчення таб. 2.3.

одром (країна)	Тип РН	знаходження (координати космодрому)	ти пусків, рад.	роектні жливості одрому за ки РН, РН/рік	рактеристики трас пусків
Сичан (КНР)	CZ-3	Південно-Захід Китаю, 28° п.ш. 102° с.д.	90 – 120	6	
Учжай (КНР)	CZ-4	38° п.ш. 115° с.д.	127 – 137	6	
Шуанчендзи (КНР)	CZ-4	Пустиня Гобі, р-н м. Чанчинцзе,41° п.ш. 100° с.д.	127 – 137	12	
Утіноура (Японія)	M-5	Тихоокеанське узбережжя, о. Кюсю, 30°15' п.ш. 131°15' с.д.	60 – 165	6 – 10	
Танегасіма (Японія)	H-2, H2A	о. Танегасіма (північніше о .Кюсю), 30°22' п.ш. 130°57' с.д.	60 – 165	6 – 10	

Космодром Плєсецьк (РФ)

На космодромі функціонують сім пускових та дев'ять монтажних випробувальних установок. Географічно космодром Плєсецьк розташований в середньотайговій зоні Східно-Європейської рівнини в межах Онего-Двінського водорозділу.

Ландшафт – слабо розчленована платоподібна рівнина з загальним нахилом на північ. Через близьке залягання вапняків широке поширення в районі розташування космодрому отримали карстові форми рельєфу: воронки, скальні оголення, суходоли; іноді воронки мають діаметр 10–60 м і глибину 7–10 м.

Клімат в районі розташування космодрому помірно-континентальний, зумовлений впливом як моря, так і материка. Характерна часта зміна повітряних мас різного походження: морського і континентального, а також (порівняно рідко) континентально-тропічного. Зима тривала (до 6 місяців), багатосніжна і холодна; літо – відносно прохолодне з можливими заморозками.

Надходження сонячної радіації – один із основних кліматоутворюючих факторів. Максимальне значення прямої і сумарної сонячної радіації спостерігається в червні-липні (пряма радіація – біля 300 МДЖ/м^2, сумарна радіація – біля 570 МДЖ/м^2), мінімальне – в грудні (сумарна радіація за місяць не перевищує 10 МДЖ/м^2). Сума позитивного радіаційного балансу за весь період складає біля 1000 МДЖ/м^2, сума негативного балансу – 112 МДЖ/м^2.

Середньорічна температура повітря біля землі +1,0°С. Середньомісячна температура повітря біля землі змінюється від –14,3°С в січні до +16,0°С в липні. Абсолютний температурний мінімум відмічено в грудні 1978 р. –46,6°С. Абсолютний максимум в липні 1972 р. склав +33,5°С.

Територія Плєсецька відноситься до зони підвищеного зволоження. Річна кількість опадів – 490 мм. Середньомісячна кількість опадів має максимальні значення в травні–жовтні. За ці місяці випадає до 70 % річної кількості опадів. В окремі роки місячні суми опадів можуть відхилятися від норми на 200 %.

Найбільшу повторюваність біля поверхні землі мають вітри південного та південно-західного напрямку, і тільки в травні–червні найбільша повторюваність вітрів північного напрямку. Середньомісячні

швидкості вітру 2,8–4,0 м/с. Повторюваність вітру зі швидкістю 14–15 м/с складає менше 1 %.

Гідрографічну мережу району розташування космодрому складають ріки басейну Північної Двіни, а також озера і болота. Долини річок добре визначені в рельєфі; середній нахил рік 0,0006–0,0004. Русла річок помірно меандрують (“меандр” – вигин), швидкість течії від 0,1 до 3,0 м/с. Живлення рік здійснюється за рахунок атмосферних опадів, джерельного і частково підземного стоків.

Режим річок характеризується добре вираженим паводком; зимова межінь триває 5–6 місяців, під час якої спостерігаються стійкі рівні. Місячні витрати рік від 0,5 до 24 $м^3$/с, в паводок – збільшуються в 2–3 рази.

Витрати ріки Ємца (основної ріки в районі розташування космодрому Плєсецьк) складають в місяць 7–10 $м^3$/с, а в серпні 52–115 $м^3$/с. Основна маса стоку (60–70 %) припадає на травень–червень. В інші місяці року стік незначний, але доволі стійкий, оскільки річка отримує великий притік підземних вод. Річка зимою не замерзає, а літом має температуру 7–8°С, що пояснюється великою швидкістю течії і значним живленням за рахунок багаточисельних джерел.

Болота займають біля 5 % площі.

Грунти на території космодрому відносяться до підзолистих з широким поширенням дерново-підзолистих, підзолисто-болотяних, торф’яно-глеєвих та заплавних грунтів.

В районі домінує лісова рослинність (90 % площі). Не лісові площі складають болота, зустрічаються згарища та вирубки, дільниці сінокосів і пасовищ. Найбільш поширена порода дерев – сосна займає біля 51 % покритої лісом площі; 25 % займає ялина. На долю листяних порід – берези та осини припадає 11 % покритої лісом площі. Середньо-тайгова рослинність ПТК космодрому Плєсецьк має не дуже високі питомі показники біомаси та біопродуктивності.

Тваринний світ відрізняється різноманітністю. Збереглися рідкісні види тварин, в тому числі занесені в Червону книгу (барсук, бобер, єнотовидний собака, полярна сова, орлан-білохвіст, чорний дрозд).

В останні 20–30 років на території космодрому Плєсецьк проводяться промислові лісозаготовки, що призводить до скорочення площі лісів і негативно позначається на стані тваринного світу регіону.

Однак через специфіку функціонування космодрому на протязі більше, ніж 40 років був обмежений доступ сторонніх людей в позиційний

регіон і на прилеглі території. Фактично в цьому регіоні існував режим, близький до заповідного. Завдяки цьому не тільки забезпечувався високий рівень безпечного функціонування космодрому, але й були збережені значні ділянки незайманої тайги, різноманітні види диких звірів і птахів. На старих вирубках іде процес відновлення тайги.

На природні комплекси космодрому здійснюють вплив трансграничні переноси атмосферних викидів промислових вузлів Сєвєродвінська, Череповця, Новодвінська, Архангельська. Однак космодром знаходиться в зоні з добре розвинутою лісовою рослинністю і достатньою кількістю опадів, тому природні комплекси мають високий потенціал самоочищення.

Космодром Байконур (Казахстан)

На космодромі розміщено 9 пускових та 14 монтажних випробувальних установок.

Географічно космодром Байконур розташований в пустельній малонаселеній місцевості приаральських Каракумів.

Ландшафт – плоска піщана рівнина. Піщана або суглиниста рівна поверхня з невеликими височинами до 300 м над рівнем моря майже позбавлена рослинності. Характерна одноманітність рельєфу. Зустрічаються бархани.

Клімат – різко континентальний. В окремі роки літом бувають грози із зливовими дощами при випаданні опадів до 50 мм, в результаті чого відбувається швидкий стік води в низькі місця і їх затоплення.

Грунтові води знаходяться на глибині від 20–25 м до 200 м. В Приараллі і вздовж течії річки місцями природна і штучна (рисові поля) заболоченість. В безпосередній близькості протікає річка Сир-Дарья. В багатоводні роки під час повені, а також в зимовий період при заторах води в різних місцях виходять з берегів, утворюючи значні розливи, але границя їх непомітна і заплавні дільниці на місцевості не виражені.

Основні характеристики річки Сир-Дар’ї в районі космодрому: нахил водної поверхні 0,8 % (3 см на 1 км); переважаюча глибина ріки – 3 м; найбільша глибина – 8–12 м; переважаюча швидкість течії річки – 0,8 м/с; переважаюча ширина річки – 200 м; товщина льоду найменша – 40 см, найбільша – 110 см.

Сир-Дар’я має велику кількість водоворотів. Глибина річки часто змінюється. На дільниці Карпакчи–Казалінськ окремі ями мають

глибину 8–12 м. Грунти космодрому – пісок, супісь, легкі суглинки. Грунт переважно сипучий, нестійкий.

Рослинність району бідна. Лісова рослинність повністю відсутня. Зустрічаються піщана осока, солянка, саксаул та мариск.

З боку Аральського моря можуть переноситися дрібнодисперсний пісок, солі та отрутохімікати. Так, в Приараллі щоденно випадає на землю до 420 т пилу, який містить солі натрію, магнію і пестициди [1]. Внаслідок цього відбувається інтенсивне засолення грунтів.

Річка Сир-Дар'я має деяку очищувальну здатність, але вона сильно забруднена. В ній в багато разів перевищені ГДК таких речовин, як магній, натрій, сульфати, пестициди (в тому числі ДДТ), ліндан, гексахлоран, нітрати, вуглеводні тощо. Такий стан річки пояснюється великими кількостями добрив, гербіцидів і пестицидів, які вносились на сільськогосподарські угіддя в верхів'ях
Сир-Дар'ї.

Космодром Свободний (РФ)

Космодром знаходиться в стадії будівництва. Пуски твердопаливних РН типу "Старт" відбуваються поки що з мобільної пускової установки.

Географічно космодром розташований в межах Середньо–Зейської провінції Амуро–Сахалінської фізико-географічної сторони, в північній частині межиріччя річки Великої Пери і притоку річки Ори.

Місцевість являє собою плоску рівнину, полого нахилену з півночі на південь і розчленовану широкими пологосхильними долинами притоки основних рік. Абсолютні відмітки межиріч змінюються від 300 м на півночі до 260 м на півдні; глибина розчленування сягає 50 м. В ландшафтній структурі переважають слабогорбисті, вирівняні денудаційно-акумулятивні рівнини з південнотайговими лісами на бурих лісових грунтах, місцями з морями і болотами.

Клімат космодрому Свободний – мусонний, континентальний, що формується під впливом азіатського материка і Тихого океану. Зимою над охолодженим континентом встановлюється область підвищеного тиску – сибірський антициклон. Над Тихим океаном встановлюється область пониженого тиску. В цей період повітряний потік спрямований в бік Тихого океану (зимовий мусон). Встановлюється холодна, суха (малосніжна) зима з переважанням ясної погоди. В період з листопада до березня спостерігаються тривалі температурні інверсії. Середньомісячна

температура найбільш холодного місяця – січня сягає 25–27°С. Абсолютний мінімум складає –50°С. Максимальна висота снігового покриву 22–24 см. В літній період материк сильно прогрівається. Над ним встановлюється область підвищеного тиску, а над океаном – пониженого. З моря на територію суші починають проникати повітряні потоки східних і південно-східних напрямків, зумовлюючи тепле і дощове літо на материку. Найбільш теплий місяць – липень; середньомісячна температура повітря +19–21°С. Абсолютний максимум досягає +37–38°С. Річна сума опадів – 400-800 мм. Сумарна сонячна радіація за рік – біля 4850 Дж/м^2.

Головні водні артерії району космодрому – ріки Велика Пера та Ора – притоки річки Зеї. Більш мілкі водостоки – струмки Мідний, Прохладний, Охотничий, Гальчиха, Кабанка, Івер, Ніколаєвський та ін.

В структурі ґрунтового покриву переважають бурі лісні грунти, на які припадає 75 % площі; біля 15 % площі зайнято болотяними грунтами.

Рослинність району космодрому Свободний відноситься до тайгового типу підтипу південної тайги; представлена південно тайговими сосновими, сосново-листяними, трав'яно-кущовими, підтайговими сосновими лісами і має високі питомі показники біомаси і біопродуктивності.

До розміщення космодрому його територія піддавалася інтенсивному лісогосподарському освоєнню і сільсько-господарській дії (понад 80 % площі космодрому). Однак завдяки високому потенціалу екологічної стійкості ПТК на території космодрому після ряду різних стадій сукцесійних змін в даний час відмічаються тенденції відновлення корінної рослинності.

Забруднення повітря в районі космодрому формується під впливом локальних і регіональних джерел. Регіональний рівень забруднення атмосфери визначається сукупністю джерел (ТЕЦ, котельні, транспорт, ремонтні підприємства тощо), розташованих в населених пунктах в долинах рік Амура та Зеї. Незначний вплив на забруднення атмосфери над космодромом здійснює дальній атмосферний перенос. Локальні джерела забруднення – котельні, авто-, залізничний та повітряний транспорт, склади, очисні споруди в районі селища Углегорська.

Космодром Капустін Яр (РФ)

Пуски РН з космодрому Капустін Яр були припинені в 1988 р. і відновлені лише в 1999 році (пуск РН "Космос-3М).

Географічно космодром розташований головним чином на території Астраханської області і частково – на території Волгоградської області.

Територія космодрому розміщена в межах Прикаспійської низовини, в її північно-західній частині, і являє собою морську акумулятивну рівнину з окремими висотами 1–3 м, полого нахилення на південь. За характером рельєфу – це слабодренована рівнина, іноді плоска. Зустрічаються слабо визначені в рельєфі (1–2 м) пониження різної форми (витягнуті потяжини, безстічні блюдцевидні впадини і більш широкі засолені пониження). На півдні зустрічаються дільниці із слабо закріпленими рослинністю бугристими пісками.

Клімат району різко континентальний, з жарким переважно посушливим літом і найбільш часто з ясною і холодною зимою. Середньорічна температура повітря + 7,3°С. Найбільш теплий місяць – липень має середньомісячну температуру +24,2°С з абсолютним максимумом +37°С та абсолютним мінімумом +7°С. Середньомісячна температура повітря найбільш холодного місяця – січня дорівнює –9,9°С з абсолютним мінімумом –36°С і максимумом +2°С.

Річна кількість опадів складає 380 мм.

Зимою та весною дещо переважають вітри східної (південно-східний, східний, північно-східний) чверті (48 %), а влітку (45 %) та восени (39 %) – західної (північно-західний, західний, південно-західний) чверті.

Середня дата появи снігового покриву – третя декада грудня, найбільш ранній термін появи снігового покриву – перша половина жовтня.

Середня з найбільших декадних висот снігового покриву складає 12–15 см, максимальна – 28 см і мінімальна – 4 см; максимальна висота снігового покриву спостерігається звичайно в кінці січня–лютого.

Тумани найбільш часто повторюються з жовтня до березня. Кількість туманних днів коливається від 7 (вересень) до 9 (грудень). Всього за рік спостерігається до 41 дня з туманами. Найбільша тривалість туману в годинах – 55 (грудень).

Щорічно спостерігаються посухи і суховії, викликані слабо розвинутою циклонічною діяльністю і великим притоком сонячної радіації.

Суховії можуть супроводжуватися сильними вітрами (>15 м/с). Щорічно спостерігається від 15 до 25 днів з сильним вітром. Сильні і помірні вітри можуть викликати пилові бурі (повторюваністю до 15 днів в

рік); частіше з травня до липня. Відбувається здування верхнього шару грунту, насіння, рослин, заноси полів мілкозем'ям.

Сольові бурі характерні для західної частини території, розташованої поблизу Волго-Ахтубінської заплави. Джерело їх – солоні озера. Сольові бурі показові при сильних південних і південно-східних вітрах.

З квітня до жовтня грозові зливи можуть супроводжуватися градом (найбільша повторюваність до одного дня в місяць, в червні і жовтні – до двох днів).

За умовами водного режиму території космодрому характеризуються наявністю тимчасового поверхневого стоку і перерозподіленням його за елементами рельєфу під час весіннього сніготанення. Гідрографічна мережа практично відсутня. Спостерігаються окремі сухі русла з тимчасовими водостоками, якими талі і дощові води мають стік в заплаву річки Ахтуби. На окремих дільницях водозбір здійснюється в замкнуті котловини і пониження. Середній річний стік низький. Коефіцієнт паводкового стоку незначний і складає 0,01–0,02, що характерно для плоскої рівнини Прикаспійської низовини.

Переважаючі ґрунтоутворюючі породи є суглинками, підстилаючими морськими важкими суглинками і глинами. Іноді зустрічаються супісок і пісок. Як правило, всі ґрунтоутворюючі породи засолені, мають слабку водопроникність, за виключенням супісків і пісків. Ґрунтовий покрив представлений солонцями мілкими і середніми в комплекті з світло-каштановими і каштановими солонцюватими грунтами. В пониженнях зустрічаються луговато- і луговато-каштанові грунти, а в замкнутих безстічних пониженнях формуються лугові солончакові грунти і солончаки.

В цілому для території полігону характерна надзвичайна комплексність ґрунтового покриву, солонцюватість верхніх горизонтів грунтів, засоленість і загіпсованість нижніх горизонтів.

За ступенем солонцюватості і засолення спостерігається велика неоднорідність як за територією, так і за ґрунтовим профілем. Вміст поглинутого натрію і магнію в солонцюватих горизонтах складає 5–20 % суми поглинутих основ. Засолення змішане: хлоридно-сульфатне, сульфатно-хлоридне, хлоридно-содове. Грунти й ґрунтоутворюючі породи карбонатні із вмістом $CaCO_3$ до 10–20 %. Велика колоїдальність, набухлість і слабка водопроникність солонців і солонцюватих грунтів сприяють закріпленню та накопиченню антропогенних хімічних забруднювачів. В той же час висока карбонатність окремих горизонтів

грунтів зумовлює їхню підвищену буферність і може сприяти нейтралізації кислих сполук, що потрапляють в грунт.

Рослинність – напівпустельна типчаково-полинна, ковильно-типчаково-полинна з домішкою ефемерів і солянок. В пониженнях зустрічається лугове різнотрав'я, тамариск. Природна деревна рослинність відсутня. Лише поблизу селищ і зрошувальних споруд зустрічаються посадки в'яза вузьколистого, тополі, яблуні, чагарників.

Тваринний світ – здебільшого гризуни (суслик, полівка, тушканчик), зустрічаються заєць-русак, лисиця, вовк, заходять сайгаки. Птахи представлені жайворонками, воронами, куропатками, зустрічаються дрофа і стрепет, з плазунів – ящірка, гадюка. В водоймах водиться риба – карпові, окуневі, частикові; гніздиться також водоплаваюча птиця.

На фоновий стан природних комплексів космодрому здійснюють вплив переноси на дальні відстані атмосферних викидів Астраханського і Волжського хімічних комплексів, а також промислового комплексу Волгограда. Територія космодрому частково використовується для сільськогосподарського виробництва.

Східний випробувальний полігон та Космічний центр ім. Дж. Кеннеді (США)

Східний випробувальний полігон та Космічний центр ім.Дж.Кеннеді розташовані на одній території, але мають самостійні технологічні комплекси і підпорядковані відповідно Військово-повітряним силам (ВПС) і Космічному центру Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (НАСА).

Загальна площа випробувального центру понад 400 км^2. На космодромі створено і підтримується з різним ступенем експлуатаційної готовності 48 стартових комплексів. Обслуговуючий персонал Східного випробувального полігону нараховує понад 20 тис.чол.

Полігон має всі види сполучень: повітряне, морське, залізничне та автомобільне. На острові Мерріт існує розвинута мережа внутрішньо полігонних каналів. Траси полігону проходять в акваторіях Атлантичного та Індійського океанів. В акваторії Атлантичного океану на островах розміщені основні пункти полігонного командно-вимірювального комплексу (КВК). Кінцева частина траєкторії виведення космічних апаратів (над Індійським океаном) відслідковується плавучими і літаковими засобами КВК.

Центр ім.Дж.Кеннеді має більше 50 будівель, споруд і технологічних площадок, обслуговує центр біля 3 тис.чол.

Траси польоту ракет-носіїв із Східного випробувального полігону і центру ім.Дж.Кеннеді протяжністю понад 20 тис.км проходять над Атлантичним та Індійським океанами в південно-східному напрямку. На трасах знаходяться три основних райони падіння, мережа із 15 вимірювальних пунктів і сотні морських, літакових і наземних пунктів стеження.

Географічно полігон розташований на східному узбережжі північно-американського материка на мисі Канаверал та острові Мерріт (штат Флорида, координати 28°30′ північної широти і 80°36′ західної довготи). Місцевість заболочена, рівнинна; скельний грунт знаходиться на глибині 50 м.

Клімат океанічний, тропічний. Характерна сонячна, тепла зима. Середня температура січня +17°С, серпня – +27°С. Річна сума опадів – 1200-1400 мм. Часті урагани і тайфуни, при яких швидкість вітру досягає 55 м/с, коливання температури на протязі року від 0 до +50°С.

Річки короткі, але багатоводні. Річка Сент-Джонс судноплавна. Багато озер і боліт, особливо в південній частині (обширний заболочений район Еверглейдс).

Грунти – червоноземи, жовтоземи і болотні.

Біля 70 % площі покрито лісами (включаючи ліси на болотах і мангрові). На території космодрому проростають вічнозелені дуби, лавр, тис, тропічні пальми, болотний кипарис.

В зоні безпеки Космічного центру ім.Дж.Кеннеді організовано заповідник, в якому водиться більше 300 видів птахів та 50 видів тварин. Вісім видів занесено службою охорони природи США до списку рідкісних і дев’ять – до списку видів, що знаходяться під загрозою зникнення. Завдяки існуванню зони безпеки космодрому, врятовані від повного вимирання флорідські алігатори, ламантини (сімейство морських корів).

Західний випробувальний полігон (США)

До складу західного випробувального полігону входять випробувальна база ВПС США Ванденберг, полігони Пойнт-Мугу, Пойнт-Аргуельо і внутрішній полігон. Тут зосереджені 11 стартових комплексів з 20 стартовими позиціями.

Авіабаза Ванденберг і полігон Пойнт-Аргуельо використовуються для запуску космічних апаратів військового призначення. На базі знаходяться три стартових комплекси для РН “Атлас”, два – для РН “Титан” і один – для РН “Скаут”.

Траси польотів РН проходять над акваторією Тихого океану, що значно спрощує вирішення проблем безпеки польотів, питань техногенної безпеки в районах падіння перших ступенів ракет-носіїв і різко скорочує витрати на відведення земель та утримання районів падіння.

Траса протяжністю більше 16 тис.км обладнана десятками вимірювальних пунктів і має три випробувальних райони: Гавайські острови, атол Кваджалейн та атол Еніветок. Вимірювальні пункти розташовані в районах стартових позицій на материку, а також на островах Тихого океану – Оаху, Мауі, Кантон, Кваджалейн, Гуам та ін.

Сектор стрільби знаходиться в межах 170–301°. Діапазон нахилу орбіт космічних апаратів, які запускаються з цього полігону, – від 34°2′ до 90° (при західному напрямку) і від 81°48′ до 125° (при східному напрямку).

Особливість полігону – пуск РН виконуються, як правило, в напрямку проти обертання Землі, тобто на Захід. Це зумовлено його розташуванням, оскільки при “стрільбі” на схід траси польотів проходять над густонаселеними районами США.

Полігон забезпечує щорічно до 140 пусків бойових ракет та РН і є єдиним полігоном в США, що дозволяє виконувати пуски космічних апаратів на орбіти, які проходять через полюси Землі. При цьому початкові дільниці траєкторій виведення РН не проходять над населеними пунктами країни.

Загальна чисельність спеціалістів полігону перевищує 17 тис.чол., з них 9,6 тис. – військовослужбовці.

При старті з бази Ванденберг азимут пуску системи “Спейс Шаттл” обмежений азимутом стрільби 140–208°. При азимуті, меншому 140°, траса пройшла б над Мексикою, при азимуті, більшому 208° – над Гавайськими островами. При запуску з бази Ванденберг максимальна маса корисного вантажу орбітального ступеню складала 20,5 т.

Для прийому орбітального корабля “Спейс Шаттл” був створений відповідний комплекс з посадочною смугою довжиною 4500 м і шириною 90 м. Посадочна смуга орієнтована в напрямку з півночі на південь.

Географічно Західний випробувальний полігон, другий за величиною і значенням космодром США, розташований на відстані 250 км від м. Лос-Анжелес (штат Каліфорнія, координати 34°40′ північної широти і 120°40′ західної довготи), на західному узбережжі Тихого океану, і займає площу біля 400 км^2. Космодром протягнувся вздовж берегової лінії приблизно на 40 км. Зі сходу він відгороджений Береговими горами, а з півдня – горами Санта-Інес.

Береги обривисті і сильно розчленовані, в прибережних водах багато островів і зручних бухт. В центральній і східній частинах півострова знаходиться низка розрізнених вулканічних і кристалічних масивів, тому територія полігону піддається дії землетрусів.

Клімат середземноморський з вологою зимою і посушливим, але прохолодним літом (вплив холодної Каліфорнійської течії). Середня температура січня +9,7°С, вересня +15,3°С, річна кількість опадів – 556 мм.

Найбільші річки, що зрошують Каліфорнійську долину, – Сакраменто і Сан-Хоакин.

Грунти – жовтоземи і червоноземи.

Тихоокеанське узбережжя і навітряні гірські схили покриті лісами з червоного дерева, секвойї (мамонтове дерево), дугласової піхти і жовтої сосни. На внутрішніх засушливих схилах – рідко розкидані дуби. Більша частина Каліфорнійської долини розорана.

Випробувальний центр на острові Уоллопс (США)

До складу космодрому входять три основних території: колишня база ВПС, зони на острові Уоллопс і зони на материку за три кілометри на захід від острова. На основній території космодрому, колишній базі ВПС, розташовані дослідницькі та випробувальні служби, конструкторське бюро, центри управління СК, прийому і передачі телеметричної інформації, аеродром.

На вузькій смузі острова Уоллопс довжиною 8 км і шириною 0,8 км розміщуються шість стартових комплексів, обладнаних всім необхідним обладнанням і спорудами для збирання, випробувань і пуску РН з КА.

На материковій частині розташовані вимірювальні пункти, радіолокаційний комплекс і льотно-експериментальна база. Острів з материком зв’язаний дамбою з автомобільною дорогою.

Траса польоту РН проходить в напрямку Бермудських островів і обладнана необхідними вимірювальними засобами і телеметричними станціями. Допустимий сектор пуску обмежений кутами від 67° до 145°.

Протягом року на космодромі Уоллопс виконується до 400 дослідницьких пусків з метою відпрацювання вузлів, елементів конструкцій ракет за програмами НАСА. Обслуговуючий персонал космодрому – 550–600 чол.

Географічно космодром розташований частково на східному узбережжі штату Віргінія і на острові Уоллопс (37°50′ північної широти і 75°30′ західної довготи) за 260 км від столиці США. Полігон в 1974 р. перейменовано в Центр космічних польотів Уоллопс НАСА, який використовується в області космічних досліджень за сумісними програмами США з Італією, Японією, Канадою, Австралією, Великобританією.

Клімат помірно теплий і рівний. Переважають середні температури: січня від –1 до +5°С, липня від +23 до +26°С. Опадів – більше 1000 мм/рік.

Космодром Куру (Франція – Європейське космічне агентство)

Космодром Куру в даний час знаходиться в сумісному користуванні Франції і Європейського космічного агентства (ЕСА). Він обладнаний трьома стартовими і технічними комплексами, які забезпечують збирання, випробування і запуски космічних апаратів за допомогою РН типу “Аріан”.

Постійний обслуговуючий персонал космодрому налічує 600–700 чол., в тому числі біля 55 % – місцеве населення і приблизно 45 % – європейці.

Перші ступені РН, як правило, доставляються на космодром Куру морським шляхом, а верхні ступені РН і КА – літаками в аеропорт найближчого міста Кайєнна, і далі – автотранспортом.

Космодром Куру відкритий французьким урядом для будь-якої держави, що бажає здійснювати запуски з цього району. Він має дві обладнані необхідними засобами траси польоту: в бік Азорських островів протяжністю 4000 км і Бермудських островів протяжністю 3000 км.

Географічно космодром розташований у Французькій Гвіані на північно-східному узбережжі Південної Америки (5°18′ північної широти і 53° західної довготи), займає прибережну смугу довжиною 60 км і шириною 20 км від м.Куру до м.Сіннамарі.

Ландшафт являє собою низовинну, переважно заболочену рівнину.

Клімат в цьому районі Південної Америки жаркий, вологий, рівний. Середня температура липня +28°, січня +26°. Протягом року територія космодрому знаходиться під впливом північно-східного пасату, що приносить вологу з Атлантичного океану. Середньорічні кількість атмосферних опадів 2000-3000 мм. Найбільш вологий період – з грудня до липня, з максимумами в грудні та червні.

Найбільш значні і багатоводні річки: Есекі-бо, Мароїї та Ояпок.

Рослинність являє собою головним чином вологі тропічні ліси. Тваринний світ багатий і різноманітний, хоча великих тварин мало. Характерні його представники: в лісах – тапіри, мавпи, папуги, тукани, колібрі; в саванах – олені, муравляри, броненосці, отруйні гримучі змії. Ріки багаті на рибу.

Для відпрацювання окремих ступенів РН та їхніх елементів Франція використовує також ракетний полігон Біскаррос на Атлантичному узбережжі країни (44°20′ північної широти і 1°20′ західної довготи).

Космодроми Японії

Космодром Утіноура займає площу 51 км^2 і має два стартові і технічні комплекси для запуску РН типу “Ламбад” та “М”. З цього космодрому був запущений перший штучний супутник Землі (ШСЗ) Японії.

Космодром Утіноура розташований на узбережжі Тихого океану (31°15′ північної широти і 131°5′ східної довготи, острів Кюсю).

Південніше острова Кюсю знаходиться невеликий острів Танегасіма, що дав ім’я розташованому на цьому острові другому космодрому Японії (30°30′ північної широти і 131° східної довготи). Запуски можуть здійснюватися в два 45-денних періоди: в січні–лютому та липні–серпні.

Клімат морський, вологий, мусонний, перехідний до тропічного. Характер рельєфу зумовлює різкі прояви висотної поясності клімату і чіткі визначені кліматичні відмінності між схилами протилежної експозиції.

Зимовий мусон спрямований з материка. Літні мусони слабкіші, проявляються головним чином в передніх частинах циклонів, які проходять вздовж полярного фронту (вздовж зони розділу між масами повітря помірного поясу і тропічного). Тепле і вологе морське тропічне повітря приносить затяжні, зливові дощі (нокай), похмуру, сиру, душно-

жарку погоду. Літній мусон створює максимум опадів в червні. В кінці літа і восени з півдня можливий прихід тайфунів. Океанічне положення і мусонний клімат зумовлюють велику кількість опадів, які складають 1000–3000 мм на рік.

Переважають грунти підзолистого типу і червоноземного ряду, жовтоземи, червоноземи і справжні латерити (лат. “later” – цегла). Грунти, як правило, щебенисті. Більшість з них формуються при значній участі вулканічного попелу.

В рослинному світі переважають вічнозелені види дуба, камфорний лавр, магнолії, сосни з характерними химерними кронами, піхта, цуга, криптометрії, японські кипариси, туя, туйопсиси, тисові. Дуже розкішний і густий вічнозелений підлісок із аралій, камелій, магнолій, акуб та інших, багато ліан.

Тваринний світ надзвичайно різноманітний. Переважають види, пристосовані до гірсько-лісового способу життя. Як і в рослинному світі, серед тварин багато ендеміків і реліктів. Прісноводні риби: короп, сом, угрі, мінога. Штучно розплоджуються лососеві і форель. Відомі прісноводні краби і раки. Дуже різноманітний і яскравий світ комах.

Пускова платформа “Сан-Марко” (Італія)

Пускова платформа “Сан-Марко” з необхідним технологічним обладнанням створена на базі морської бурової платформи і відбуксована в Індійський океан в затоку Формова за 5 км від узбережжя Кенії (2°57′ південної широти і 40°13′ східної довготи). Довжина платформи “Сан-Марко” – 90 м. На ній розміщені ангар довжиною 36 м для збирання і випробувань РН типу “Скаут” та пусковий пристрій. Під час пуску платформа закріплюється в стаціонарне положення за допомогою 20 стальних опор.

Стартовий комплекс включає також і другу морську платформу “Санта-Ріта” за 500 м від пускової платформи, яка є командним вимірювальним пунктом.

В стартове стаціонарне положення платформи встановлюються за допомогою висувних стальних опор. Між собою платформи зв’язані двома десятками підводних кабелів.

Космодром Шрі-Харікота (Індія)

До складу космодрому входять стартові і технічні комплекси для підготовки і запуску РН типу “СЛВ-3” і “СЛВ-4”, а також метеорологічні ракети, випробувальні стенди двигунних установок, завод для виробництва ракетних палив.

Космодром Шрі-Харікота розташований на острові за 100 км на північ від м.Мадраса (13°47′ північної широти і 80°15′ східної довготи).

Клімат тропічний. Середня температура літа +(26-32°), зими +(18-25°). Зимою над островом встановлюється більш високий тиск повітря, ніж над океаном, а влітку тиск над Індійським океаном значно вищий, ніж над сушею. Наслідком цього є мусони; взимку вони прямують із суші на океан і супроводжуються сухою ясною погодою; влітку вони мають протилежний напрямок і приносять вологу, значну хмарність та опади. Час настання вологого мусону, його тривалість і кількість опадів значно змінюються з року в рік. Середня кількість опадів складає 11500 мм. З жовтня до квітня стоїть суха зима, з травня до вересня – вологе літо. Температура звичайно досягає максимуму в кінці зими – на початку літа, коли ще мало проявляється вплив хмарності і мусонних дощів. Опади розподіляються дуже нерівномірно як за часом, так і за територією. Біля 70–90 % річних опадів випадає в період розпалу мусону.

Переважаючим типом природної рослинності є тропічні ліси, які втрачають листя в сухий сезон.

Характерними представниками тваринного світу є пантера (поширена повсюди), ведмідь-губач; з копитних – індійський слон (зберігся всюди, де є ліси), антилопа, індійський дикий кабан; з гризунів – численні білки , пацюки, дикобраз. Зустрічається кілька видів напівмавп (лорі) та собакоподібних мавп (макаки та тонкотіл). З місцевих індійських птахів характерні пава, декілька видів диких курей, великі дрозди.

З плазунів поширені удав, отруйна очкова змія. Надзвичайно різноманітний світ безхребетних.

Космодром Шуанченцзи (Чанчинцзе, Китай)

Космодром є одним з перших космодромів КНР, споруджених в рамках національної космічної програми в 1965-1970 рр. Він обладнаний трьома стартовими комплексами. Пуски РН здійснюються в північно-східному напрямку.

Космодром розташований за 1470 км на захід від Пекіна в пустелі Гобі в районі м.Чанченцзе (41° північної широти і 101° західної довготи).

Клімат континентальний. Річна амплітуда температур 32,7°. Великі також і добові амплітуди. Основні риси клімату визначаються зміною літніх і зимових мусонів. Зимою область високого тиску поширюється із Сибіру. Області низького тиску знаходяться в цей час в районах Полінезії та Філіпін. В результаті такого розподілення тиску виникає сильний вітер, який дме в північно-західному напрямку з материка до океану, – холодний і сухий зимовий мусон. Літній теплий і вологий мусон, що дме з океану – слабкіший, ніж зимовий. Зміна мусонів відбувається в квітні і в вересні. Взимку на температуру впливає близькість сибірського полюсу холоду.

Середня температура холодного місяця – 4,3°, найбільш жаркого +26,4°. Опади складають 637 мм за рік.

Грунти бурі, в пустелі Гобі вони часто покриті дрібною галькою та щебенем.

Рослинність переважно пустельна і напівпустельна: звичайні злаки, різноманітні солянки, полини, карачаги.

Кількість видів тварин у зв'язку з пустельністю ландшафту невелика: водяться дикі верблюди, зберігся дикий кінь Пржевальського, широко поширені сайгак, кулан і пустельна антилопа-джейран.

Космодром Сичан (Китай)

До складу космодрому входять два стартових комплекси. Вертикальне збирання і перевірка ракет виконуються безпосередньо на старті і займають біля 36 діб. Весь цикл збирання, перевірки, заправки і підготовки к пуску складає приблизно 56–60 діб. Розрахункова продуктивність одного старту 6–7 пусків за рік. Невелика відстань космодрому від екватору (порівняно з Шуанченцзи) дає помітний виграш в енергії при запусках з нього ШСЗ на стаціонарну орбіту.

Космодром розташований на південному заході Китаю (28 північної широти і 102 західної довготи) за 1300 км від космодрому Шуанченцзи. Спеціалізується на запусках РН "CZ-3", які виводять корисний вантаж на стаціонарну орбіту.

Середня температура найбільш холодного місяця +13,7°, найбільш жаркого +29,2°. Опади складають 1175 мм за рік.

Найбільш поширені бурі лісові та латеритні грунти, червоноземи.

Надзвичайно різноманітні ліси. Для них характерні дуби, сосни, гостролисті, лаври, смоківниці, камфорне дерево, лакове дерево, різні види пальм. Особливе господарське значення має бамбук. З тварин зустрічається тигр, водяться різні види мавп (в т.ч. гібони), китайський козел – джара, багато

видів кішок, величезна кількість гризунів. Зустрічаються також лемур, товстий лорі, азіатська цівета, носороги, тапіри. Відомо кілька видів фазанів, мешкають тетері, рябчики, багато водоплаваючих і голінастих – качки, гуси, журавлі, чаплі.

За 100 км південніше Пекіну завершено будівництво третього космодрому КНР, створеного на базі випробувального полігону балістичних ракет. Космодром планується використовувати для запусків супутників на полярні орбіти. В 1987 р. з цього космодрому виконано випробувальний пуск міжконтинентальної балістичної ракети CSS-4. Відомісті про подальше використання космодрому у відкритій пресі відсутні.

2.2. Засоби виведення космічних апаратів

В даний час тільки вісім країн здійснюють запуски КА з використанням власних засобів виведення (ЗВ): Росія, США, Франція (разом з країнами, що входять в Європейське космічне агентство), Японія, Китай, Індія, Ізраїль та Австралія. Більше 15 держав працюють над реалізацією власних програм створення і розвитку засобів виведення. Деякі програми здійснюються в рамках двосторонніх і багатосторонніх угод. До таких країн відносяться ПАР, ФРН, Англія, Італія, КНДР, Іспанія та ін.

2.2.1. *Ракети-носії (РН)*

Основні технічні характеристики українських, російських та інших зарубіжних РН, які визначають інтенсивність їх дії на НПС, подані в табл.2.4.

Як видно з табл.2.4, в РН, що експлуатуються, і в перспективних РН використовуються такі види ракетних палив:

– гідразинові палива – НДМГ, ММГ, “Аерозин-50” та ін.;

– вуглеводневі палива – гас Т-1, РГ-1 (нафтил) та ін.;

– азотні окислювачі – азотний тетраксид (АТ), азотна кислота (АК), АК-27И;

– кріогенний окислювач – рідкий кисень;

– кріогенне пальне – рідкий водень.

Таблиця 2.4

Основні технічні характеристики ракет-носіїв

РН, виробник	Стартова маса, т (маса КА, що виводиться на кругову орбіту H=200 км, т)	Початкова маса заправленого тупеню, т (маса палива, т)	Паливо		Час роботи ДУ, с /висота відключення, км	Тип двигуна (тиск в камері згоряння / тиск на зрізі сопла, МПа)	Фактичний показник надійності (загальна кількість пусків/ кількість аварій)	Космодром запуску
			Пальне	Окисник				
„Циклон-2” (11К69), НПО „Южное” (Дніпропетровськ, Україна)	176 (2,9)	1 ст. – 122,3 (115,9) 2 ст. – 49,3 (45,6)	НДМГ	АТ	1 ст. – 122/45 2 ст. – 160/120÷200	1 ст. – РД-261 (8,5/ 0,079) 2 ст. – РД-262 (9,1/ 0,021)	0,98	Байконур
„Зенит-2” (11К77), НПО „Южное” (Дніпропетровськ, Україна)	459 (13,8)	1 ст. – 352,7 (324,76) 2 ст. – 89,8(82,1)	гас РГ-1	Рідкий O_2	1 ст. – 130/71÷90 2 ст. – 310÷500 (рульова ДУ) /180 ÷1500	1 ст. – РД-171 (25/0,073) 2 ст. – РД-120 (16.6/ 0,0133)	0,76	Байконур
“Днепр”(SS-18K, РС-20), проект КБ ”Южное” (Дніпропетровськ, Україна)	210 (більше 4)	1 ст. – 161,5 (147,9) 2 ст. – 41,1 (36,7) 3 ст. – 5,1 (1,9)	НДМГ	АТ	1 ст. – 548/52,3 2 ст. – 281,5/ 310 3 ст. – 884/660	—	0,97	Байконур

Продовження таб. 2.4

РН, виробник	Стартова маса, т (маса КА, що виводиться на кругову орбіту Н=200 км, т)	Початкова маса заправленого тупено, т (маса палива, т)	Паливо		Час роботи ДУ, с /висота відключення, км	Тип двигуна (тиск в камері згоряння / тиск на зрізі сопла, МПа)	Фактичний показник надійності (загальна кількість пусків/ кількість аварій)	Космодром запуску
			Пальне	Окисник				
"Штиль-2" (проект), ГРЦ ім. В.П. Максеєва (на базі РСМ-54, SS-N-23)	40,3 (0,3)	—	НДМГ	АТ	1 ст. – 74,8/ 32,7 2 ст. – 94,7/ 124,4 3 ст. – 87,6/ 170,8	—	—	Борт атомного підвоного човна
США								
"Space Shuttle"	2,019 (114)	0 ст. – 2 х 582,9 (2 х 504) 1 ст. – 738,8 (706)	0 ст. – 2 твердопаливні прискорювачі (перхл.аммон./Al/оксид заліза/зв'язуюча) 1 ст. – рідкий H_2 + рідкий O_2		0 ст. – 132/49,7 1 ст. – 398/118,7	0 ст. – РДТП (—) 1 ст. – SSME (2,1/0,019)	0,96	Мис Канаверал, Ванденберг

Продовження таб. 2.4

РН, виробник	Стартова маса, т (маса КА, що виводиться на кругову орбіту Н=200 км, т)	Початкова маса заправленого тупенно, т (маса палива, т)	Паливо		Час роботи ДУ, с /висота відключення, км	Тип двигуна (тиск в камері згоряння / тиск на зрізі сопла, МПа)	Фактичний показник надійності (загальна кількість пусків/ кількість аварій)	Космодром запуску
			Пальне	Окисник				
“Atlas-2A”, “Lockheed Martin Astronautics”	187 (7,92)	1 ст. – 142,5 (139,5) 2 ст. – (16,78)	1 ст. – RP-1 + рідкий O_2; 2 ст. – рідкий H_2 + рідкий O_2		1 ст. – 449/ 2 ст. – 449/–	1 ст. – RLIOA-4 (3,9/–) 2 ст. – RLIOA-3-3 (2,8/0,0041)	0,842	Мис Канаверал, Ванденберг
“Ariane-44L”	459 (9,6)	0 ст. – (4 х 9,5) 1 ст. – (217,2) 2 ст. – (34,6) 3 ст. – (10,8...11,86)	0 ст. – НДМГ + АТ (4 прискорювачі) 1, 2 ст. – НДМГ + АТ 3 ст. – рідкий H_2 + рідкий O_2		0 ст. – 67...89 1 ст. – 213 2 ст. – 125 3 ст. – 720...760	0 ст. – 4 х Viking-6 1 ст. – Viking-5 2 ст. – Viking-4 3 ст. – HM-7B	23/1	Куру

Продовження таб. 2.4

РН, виробник	Стартова маса, т (маса КА, що виводиться на кругову орбіту Н=200 км, т)	Початкова маса заправленого тупеню, т (маса палива, т)	Паливо		Час роботи ДУ, с /висота відключення, км	Тип двигуна (тиск в камері згоряння / тиск на зрізі сопла, МПа)	Фактичний показник надійності (загальна кількість пусків/ кількість аварій)	Космодром запуску
			Пальне	Окисник				
Японія								
J-1	85 (0,85)	1 ст. – 70 (59) 2 ст. – 12 (10) 3 ст. – 3 (27)	1 ст. – тверде паливо (СТРТ) 2, 3 ст. – тверде паливо (14% НТРВ, 68% АР, 18% А1)		1 ст. – 89/ 2 ст. – 55/ 3 ст. – 71/			Танегасіма
Китай								
“Чанчжен-3”, Great Wall Industry Corp|	200 (1,4)	1 ст. – 151 (142) 2 ст. – 39 (35) 3 ст. – 10 (8)	1, 2 ст. – НДМГ + АТ 3 ст. – рідкий H_2 + рідкий O_2		1 ст. – 132/ 2 ст. – 110/ 3 ст. – (500+300)/	1 ст. – YF-20 (7,1/ 0,07) 2 ст. – YF-22 (7,1/ ?) 3 ст. – YF-23	0,75	Сичан

Застосування кріогенних компонентів не супроводжується шкідливою дією на об’єкти НПС в районах стартових комплексів і в районі падіння (РП) частин, що відокремлюються (ЧВ).

Використання висококиплячих компонентів ракетних палив – гідразинового пального і в менших кількостях вуглеводневих палив здійснює шкідливий вплив на НПС.

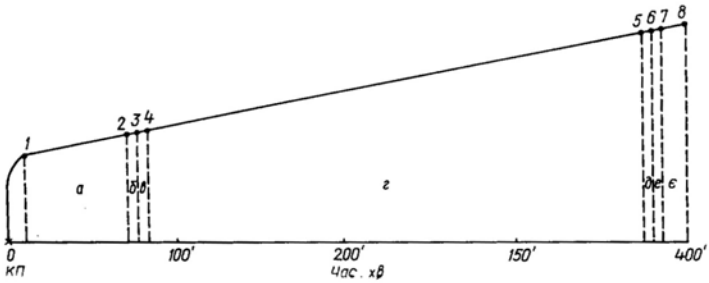
2.2.2. *Розгінні блоки (РБ)*

Розгінний блок – це уніфікований останній ступінь ракети-носія, призначений для виведення космічного апарата на високо енергетичні траєкторії зі стартом з проміжної геоцентричної орбіти [1].

Розгінні блоки розробляються і виготовляються тільки в Росії, Україні та США. Основні характеристики існуючих і перспективних РБ подані в табл.2.5.

Найбільш часто РБ використовуються для виведення КА на геостаціонарні орбіти (ГСО), у зв’язку з чим підвищується щільність їх засмічення. Для обмеження засмічення ГСО після відокремлення КА від РБ реалізується маневр відведення РБ з робочої орбіти КА на орбіту тривалого зберігання. Висота орбіти зберігання відрізняється від ГСО на 100–200 км.

Типова циклограма роботи РБ типу ДМ (Росія) показана на рис.2.3.



2.3. Типова циклограма функціонування розгінного блоку:
1 – відділення головного блоку (ГБ) від РН; *2* – запуск реактивного маршового двигуна (РМД) системи забезпечення запуску (СЗЗ); *3* – перше включення маршового двигуна (МД); *4* – виключення МД; *5* – запуск РМД СЗЗ; *6* – друге включення МД; *7* – виключення МД; *8* – відділення КА; *а* – пасивна дільниця; *б* – робота РМД ССЗ; *в* – робота МД; *г* – пасивна дільниця; *д* – робота РМД СЗЗ; *е* – робота МД; *є* – пасивна дільниця.

Як приклад, в табл.2.6 наводиться послідовність функціонування перспективного РБ “Бриз-М” при виведенні КА на геостаціонарну орбіту.

Таблиця 2.5

Основні характеристики РБ і верхніх ступенів РН

Тип РБ; розробник	РН	ливо: тип/ маса, т		араметри орбіти	ість вмикань в польоті ас роботи, с)	игун
		ислю-вач	льне			
Росія						
Блоки “Д”, “ДМ”, “ ДМ-2”, РКК “Енергія”	“Протон” “Зеніт”	Т/ –	ДМГ	ГСО, перехідна	(720)	Д58М
С5М; НВО “Южное”, Дніпропетровськ (Україна)	“Циклон-3”	Г/2,3	МГ/1,2	перехідна	00 в режимі малої тяги)	–
“Бриз-М”; ГКНПЦ ім. М.В.Хруничева	“Протон-К, Протон-КМ, “Ангара”	/12,0	ДМГ/5,9	ГСО, перехідна	3000 3200)	Д30
“Бриз-М”; ГКНПЦ ім. М.В.Хруничева	“Рокот”, “Циклон-3”	Т/–	ДМГ/–	перехідна		
“Фрегат” НВО ім. С.А.Лавочкіна	“Русь”	Т НДМГ 5,525		перехідна	20	
США						
вр G”: namics	итан-34Д МТКК “Спейс Шатл”	Рідкий O_2 Рідкий H_2 13,5		ГСО, перехідна	436	RL10A-3B
вр G”: ynamics	КК“СпейсШатл”	Рідкий O_2 Рідкий H_2 15,8		ГСО	609	RL10A-3B

Закінчення табл.2.5

Тип РБ; розробник	РН	ливо: тип/ маса, т		араметри орбіти	ість вмикань в польоті с роботи, с)	вигун
		ислю-вач	льне			
PAM-D:McDon/ Douglas	МТКК“Спейс Шатл”	РДП 2 Т		перехідна	85	Star-48
PAM-A:McDon/ Douglas	МТКК“Спейс Шатл”	РДТП 3,43		перехідна	59,5	R-73M
“Атлас-Центавр-ДІТ” Gen.Dynamics	“Титан-3”	O_2 Рідкий H_2 а маса 15,85		ГСО, перехідна		10A-3-3A
“Атлас-Центавр-ДІА”; Gen.Dynamics	“Аріан”	O_2 Рідкий H_2 15,85		ГСО, перехідна		10A-3-3A

Таблиця 2.6

Режим роботи РБ “Бриз-М” і параметри траєкторії польоту

ючення ДУ	раметри траєкторії на дільницях включення ДУ				Час боти ДУ, с	польоту між еннями ДУ, год	вироблюваного палива, кг
	Швидкість, м/с		Висота, Км				
	почат.	нцева	чат.	інцева			
	7725	7800	150	210	83	47	510
“ – “	7800	8500	210	800	1200	180	7200
“ – “	8500	9300	800	1200	700	1	4300
“ – “	9300	9310	1200	1400	80	300	470
5-е “ – “	1600	6070	36		750		4640

Після третього включення здійснюється відокремлення додаткового паливного баку (ДПБ), який залишається в навколоземному космічному просторі (НКП) на високо еліптичній орбіті з параметрами $H_П$ = 410 км, На = 250 км, i = 49°. Після відокремлення КА розгінний блок зі стаціонарної орбіти переводиться на орбіту з параметрами Н = 36100 км, i = 0°. Загальна маса РБ при цьому складає 1660 кг, з яких 660 кг – маса ДПБ.

2.3. Райони падіння частин ракет-носіїв, що відокремлюються

Схеми активної дільниці траєкторій РН розраховуються таким чином, щоб відповідні їм траси проходили над малонаселеними районами, а частини РН, що відокремлюються, потрапляли в спеціально виділені для цього райони.

Для приземлення ЧВ ракет при штатному забезпеченні запусків КА використовуються райони океану або суші, виділені під райони падіння (РП). Внаслідок особливостей географічного розташування космодромів континентальні РП є тільки в Росії та Китаї. У решти країн РП розташовані в акваторіях океанів.

Морські і сухопутні РП використовуються тимчасово на термін від 3 до 10 діб і менше на період забезпечення конкретного запуску КА.

Райони падіння мають форму многокутника або еліпса площею ~1500–5000 км^2 і розташовані на відстанях від точки старту до ~ 800 км при двоступеневому і до ~ 2500 км при триступеневому виведенні КА [1].

Вздовж кожної траси пуску РН відчужується декілька районів для падіння різноманітних ЧВ різних носіїв, причому частина з них відчужується для постійного використання, решта – на період проведення пусків. Відчуження кожного району пов’язане з труднощами організаційного та економічного характеру, зумовленими необхідністю забезпечення безпеки при падінні ЧВ і збитком, заподіяним народному господарству при вилученні земельних площ із використання в різних галузях народного господарства і при їх експлуатації.

Крім труднощів з вибором зон відчуження на прилеглій до кожної траси траєкторії існує певна ймовірність нанесення шкоди людям, народногосподарським та іншим об’єктам, зумовлена можливими відказами ракет-носіїв на активній дільниці та їх падінням вздовж трас пусків.

При існуючій дислокації стартових полігонів і вказаних обмеженнях проблема вибору трас пусків надзвичайно актуальна. Наприклад, для основних російських космодромів половина можливих азимутів пусків (~47 % для Байконура і ~ 53 % для Плєсецька) заборонена тільки за умовами прольоту на першій половині витка над США і падіння частин, що відокремлюються, РН на іноземній території. З врахуванням обмежень за прольотами і падінням ЧВ в густонаселених районах країни при підході, що склався, може бути вибрано лише декілька одиничних трас [1]. В даний час в Росії вірогідність попадання частин РН, що відокремлюються в заданий район падіння, прийнята 0,993-0,997 [1].

2.4. Космічні апарати та їхні двигунні установки

На сьогоднішній день у навколоземному космічному просторі знаходиться біля 450–500 активно функціонуючих КА [1]. За типом орбіт КА поділяються на високоорбітальні та низькоорбітальні. До високоорбітальних відносяться КА на ГСО та високоеліптичних орбітах.

Геостаціонарні супутники через особливості свого орбітального положення розташовуються нерухомо відносно земної поверхні над екватором на висоті біля 36 тис. км з деякою незмінною довготою підсупутникової точки. Геостаціонарний супутник має широку зону видимості, що складає приблизно третину земної поверхні. Ці та інші позитивні якості ГСО призвели до високої її насиченості космічними апаратами зв’язку. У зв’язку з цим створено спеціальний міжнародний комітет для реєстрації частот, який вирішує задачі розподілення частот для геостаціонарних КА. Зараз в цьому комітеті зареєстровано понад 200 зв’язкових КА і заявлено більше 200 перспективних систем.

У високих широтах (вище 75º) використання геостаціонарних супутників неефективне. Для вирішення проблем забезпечення зв’язком у цих районах широко застосовуються супутникові системи КА на високоеліптичних орбітах.

Період обертання на такій орбіті 12 годин, причому більшу частину часу супутник знаходиться над територією Північної півкулі. Обслуговування всієї території Росії можливе протягом 8 год, тому для організації постійного зв’язку достатньо трьох-чотирьох КА, які змінюють один одного в зоні обслуговування.

В останні роки проводиться активна робота щодо розгортання багатоступеневих систем на базі низькоорбітальних КА. Розробляються

проекти розміщення від 10 до 250 КА на кругових орбітах висотою 600–2000 км і нахиленням 30–85º.

У табл.2.7 подані типові параметри орбіт і тривалість активного функціонування основних російських та американських КА.

Таблиця 2.7

Типові параметри орбіт і тривалість активного функціонування російських і зарубіжних космічних апаратів (КА)

Тип КА	Тип і висота орбіти, км	Нахил орбіти, град	Тривалість активного існування	Приблизна кількість активно функціонуючих КА
КА зв'язку	Геостаціонарна, 35600	0	5-7 років, в перспективі 12-18	Близько 150
	Високоеліптична, ~ 40000×(450-500)	30-85	4-7 років, в перспективі 8-10	20-30
	Низька,~ 600-2000	30-85	3-5 років	Більше 200
КА ДЗЗ: оптико-електронного спостереження;	Низька еліптична, ~190-350×280-1000	51-98	5-7 років	10-15
фотографування;	Низька еліптична, ~ 180-220×250-600	50,6-97	До 180 діб	3-5
радіолокаційного зондування	Низька еліптична, ~ 250-800	65-99	3-5 років	2-5
КА навігації	Висока кругова, ~ 20000	74-83	3 роки	Близько 40
Метеорологічні КА	Сонячно-синхронна, 950-1050	81-83 99-102	4-5 років	10-20

Закінчення таб. 2.7

Тип КА	Тип і висота орбіти, км	Нахил орбіти, град	Тривалість активного існування	Приблизна кількість активно функціонуючих КА
ДОС “Мир”	Низька кругова, 300-400	51,6	Не менше 6 років, фак-тично більше 10	1
Міжнародна космічна станція (МКС)	Низька еліптична, ~ 380×400	51,6	20-25 років	1
МТКК “Space Shuttle”	Низька еліптична або кругова, 200-500	28-51,6	До 30 діб	1
Дослід-ницькі КА	Низька еліптична, ~ 220-250×300	28-99	Від 10 діб до кількох років	20-30

Темпи зростання орбітальної сукупності геостаціонарних супутників за останні три–чотири роки складає в середньому 30–38 супутників на рік. За період до 2005 року прогнозується поступове зменшення виробництва цих супутників, оскільки, в основному буде завершено розгортання нових регіональних супутникових систем якісного радіомовлення і прямого телевізійного віщання, а також національних систем зв’язку багатьох країн світу. Однак об’єм виробництва геостаціонарних супутників зв’язку залишається на рівні 12–15 на рік.

На сьогоднішній день в стадії розгортання знаходиться кілька низькоорбітальних багатосупутникових систем зв’язку. Система ‘Globalstar’, яка створюється в США за участю західноєвропейських країн, – це сукупність 48 супутників у восьми площинах з нахиленням 52º. Як глобальна система зв’язку створюється американська система ‘Iridium’, яка буде охоплювати всю земну кулю і розгортається в складі 66 супутників.

У стадії створення знаходиться російська система зв’язку на базі КА “Гонець” в складі 48 супутників, функціонуючих на кругових орбітах висотою 12000 км і нахилом 74º. Розробляються також і інші супутникові системи, які реалізують різноманітні можливості щодо телекомунікацій.

Темп зростання орбітальної сукупності низькоорбітальних супутників зв'язку в останні три–чотири роки складав в середньому 120–130 супутників на рік і в найближчі роки очікується збереження цього об'єму виробництва. У найближчі п'ять–десять років можлива стабілізація чисельності орбітальної сукупності КА внаслідок збільшення тривалості активного функціонування КА до 15–20 років.

У процесі активного функціонування КА на орбіті періодично включаються двигуни орбітальної корекції і двигуни системи стабілізації та орієнтації. Для корекції орбіти, а також для додаткового розгону при польоті до інших планет на КА використовуються маршові рідинні реактивні двигуни (РРД), аналогічні двигунам останніх ступенів РН, які працюють на паливах НДМГ+АТ або рідкий H_2 + рідкий O_2. Для видачі стабілізуючих імпульсів використовуються ракетні двигуни малої тяги. У КА тривалого функціонування ракетні двигуни малої тяги виконують функції як стабілізуючих, так і коригуючих двигунів [7].

Ракетні двигуни малої тяги, що експлуатуються в даний час, поділяються на рідинні реактивні двигуни (РРД) та електрореактивні двигуни (ЕРД). Рідинні реактивні двигуни можуть бути двокомпонентними і однокомпонентними. Характеристика російських однокомпонентних гідразинових РРД типу ДОК та двокомпонентних РРД малої тяги наведені відповідно в табл.2.8 і 2.9.

Різновидом однокомпонентного РРД малої тяги є електротермічний двигун (наприклад, російський двигун К10) у варіанті гідразинового термокаталітичного двигуна [8]. Двигун К10 використовується з 1982 року на російських геостаціонарних КА різного призначення типу "Космос", "Луч", "Галс", "Експрес". За цей період у космосі успішно відпрацювали і продовжують функціонувати понад 2000 двигунів К10, технічні характеристики якого показані в табл.2.10.

Таблиця 2.8

Характеристики однокомпонентних гідразинових двигунів

Параметр	ДОТ-5	ДОТ-25	ДОК-10	ДОК-50
Номінальна тяга, Н	5	25	10	50
Компонент	Гідразин	Гідразин	Гідразин	Гідразин
Питомий імпульс, Нс/кг	2255	2300	2250	2250
Тиск компонентів на вході, МПа	1,2	1,5	1,5	1,5
Тиск у камері згоряння, МПа	0,38	0,45	1,0	0,8
Тривалість вмикання, с: мінімальна	0,05	0,05	0,05	0,05
Максимальна	8000	6000	600	600
Сумарний час роботи, с	120000	25000	1500	1500
Кількість вмикань	55000	6000	4000	4000
Тип КА		КА “Купон” “Спектр”	Міжпланетні автоматичні станції “Фобос-1” “Фобос-2”	Межпланетні автоматичні станції “Фобос-1” “Фобос-2”

Таблиця 2.9

Характеристика двокомпонентних РРД малої тяги

Параметри	І покоління			ІІ покоління			ІІІ покоління			
	ДСТ -6	ДСТ -25А	ДСТ -25Б	ДСТ -100	ДСТ -200	ДСТ -400	ДСТ -25	ДСТ-50	ДСТ -100А	ДСТ -200А
Номінальна тяга, Н	6	25	25	100	200	400	25	50	100	200
Окислювач	АТ	АТ	АТ	АТ	АТ	АТ	АТ	АТ	АТ	АТ

Закінчення таб. 2.9

Параметри	I покоління			II покоління			III покоління			
	ДСТ -6	ДСТ -25А	ДСТ -25Б	ДСТ -100	ДСТ -200	ДСТ -400	ДСТ -25	ДСТ-50	ДСТ -100А	ДСТ -200А
Пальне	НДМГ	НДМГ	НДМГ	НДМГ	НДМГ	НДМГ	НДМГ	НДМГ	НДМГ	НДМГ
Співвідношення компонентів	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
Питомий імпульс, Нс/кг	2352	2352	2650	2705	2750	2793	2793	2940	2980	2940
Тиск компонентів на вході, Мпа	1,2	1,8	1,55	2,5	2,5	1,5	1,55	1,5	1,85	1,6
Тиск в камері згоряння, Мпа	0,6	0,82	0,82	1,5	1,5	0,8	0,8	0,76	0,77	0,7
Тривалість вмикання, с:										
мінімальна	0,045	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03
максимальна	500	400	400	300	300	1000	4000	4000	4000	4000
Час роботи, с	20000	4700	4700	10000	5000	10000	25000	20000	50000	20000
Кількість вмикань	300000	20000	20000	10000	10000	40000	300000	300000	450000	300000
Тип КА	Засіб пересування космонавта у відкритому космосі	“Союз ТМ”		МКС, Салют, Мир, Союз-Т, Союз-ТМ Прогрес	Алмаз	Квант Кристал, Спектр Природа Алмаз			МКС	

Таблиця 2.10

Технічні характеристики термокаталічного однокомпонентного РРД К10

Параметр	Значення
Тяга двигуна, номінальна, Н	0,1
Питомий імпульс при безперервному режимі роботи, Нс/кг	2000 – 21000
Тиск палива на вході у двигун, номінальний, кПа	172
Підтверджений ресурс роботи за сумарним часом вмикань, год.	Не менше 160
Надійність в експлуатації	0,999 за умов довірчої вірогідності 0,8

Існує багато різних схем ЕРД, а також робочих тіл, на яких вони можуть працювати. Однак єдиним у світі типом ЕРД, який успішно функціонує на російських КА “Метеор”, “Метеор-Природа”, “Луч”, “Космос”, “Галс” і “Експрес” є стаціонарний плазмений електрореактивний двигун на ксеноні (табл.2.11). Витрати робочого тіла (ксенону) через прискорювальні канали стаціонарного плазменого ЕРД складають 2–9,5 мг/с.

Таблиця 2.11

Технічні характеристики стаціонарних плазмових електрореактивних двигунів

Параметр	СПД-70	СПД-100	СПД-290	СПД-200
Тяга, Н	0,02-0,10	0,04-0,020	0,30-1,30	0,15-0,80
Потужність електрична, кВт	0,3-1,5	0,5-3,0	5-30	3-12
Питомий імпульс, Нс/кг	(8-20) 10	(8-20) 10	(8-35) 10	(8-30) 10
Робоча речовина	Ксенон	Ксенон	Ксенон	Ксенон
Ресурс (при тязі 0,04 Н): за тривалістю роботи, год.; за числом вмикань	3000 6000 із вихідного стану	7500 6000	9000 6000	9000 6000

Закінчення таб. 2.11

Параметр	СПД-70	СПД-100	СПД-290	СПД-200
Час підготовки до работи, с	До 220 із вихідного стану (до 3 із режиму постійної готовності)	220	300	300
Діаметр плазменого струменя на виході, мм	70	100	250	200
Енергія іонів у ядрі струменя, еВ	120-350	120-350	120-550	120-500

Для забезпечення умов мікрогравітації на борту орбітальних станцій і технологічних ШСЗ використовуються мікрогравітаційні електротермічні двигуни, наприклад, типу К10 Р(Росія). Вказаний двигун працює на рідкому аміаку і воді. При цьому забезпечується робота в діапазоні тяг 10^{-3}–10^{-2} Н при енергоспоживанні 5–10 Вт.

Перспективним напрямком в області ЕРД є дослідження щодо створення електродугового двигуна (ЕДД) малої потужності на аміаку або гідразині [8, 9]. Електродуговий двигун прийнято відносити до класу ЕРД, хоча при роботі ЕДД на гідразині використовується не тільки бортова електроенергія, але й хімічна енергія розкладу гідразину.

Робоче тіло в ЕДД нагрівається електричною дугою, яка горить між катодом і анодом, і прискорюється в надзвуковому соплі. За рахунок нагріву робочого тіла в дузі до температур 3000–5000 К і вище можна досягнути високих швидкостей витікання і відповідно високих значень питомого імпульсу. При роботі на гідразині або на аміаку ЕДД здатні забезпечити питомий імпульс 4000–6000 м/с, при використанні водню – 10000–20000 м/с. Рівень тяги, який при цьому реалізується, визначається кількістю підведеної електроенергії і може складати від кількох грамів до кількох десятків грамів при питомих витратах на одиницю тяги 3–10 кВт/Н. Тяговий коефіцієнт корисної дії (ККД), який характеризує ефективність перетворення електричної енергії в кінетичну, що визначає тягове зусилля газового потоку, складає для ЕДД малої потужності 25–35 %.

Найбільшу ефективність при рівнях енергоспоживання до 500 Вт мають іонні і холловські двигуни [7], які дозволяють отримувати максимально можливі швидкості витікання робочого тіла при достатньо

високих коефіцієнтах корисної дії. В Росії розробляються ксенонові іонні двигуни потужністю 50–500 Вт, а також холловські двигуни як з протяжною (стаціонарний плазмений двигун), так і з короткою зоною прискорення (двигун з анодним струмом – АДС) в діапазоні споживаної потужності 100–500 Вт.

Вихідні параметри іонних двигунів показані в табл.2.12.

Таблиця 2.12

Вихідні параметри іонних двигунів малої потужності

тр сопла, см	Споживана потужність, Вт	га, мН	Питомий імпульс, с	КД, %
1 10	50 – 140 150 – 500	– 5 – 19	3100 – 3700 2500 – 3500	0 – 60 5 – 65

В стадії досліджень знаходяться розроблені в Росії холловські двигуни Х–40 (типу стаціонарного плазмового двигуна) і К–15 (типу ДАС) із середнім діаметром кільцевого прискорювального каналу 40 і 15 мм відповідно. Розрахунковий діапазон споживаної потужності К–15 складає 100–300 Вт, Х–40 – 100–500 Вт. Випробування двигуна Х–40 показали, що двигун розвиває тягу 5–35 мН при споживаній потужності 80–540 Вт. При зміні витрат ксенону через анод у діапазоні 0,5–2,0 мг/с це відповідає питомому імпульсу тяги 800–1785 с і ККД 0,3–0,58. Струм розряду змінювався від 0,5 до 2 А, напруга розряду змінювалась у діапазоні 100–320 В.

Двигун К–15 дозволяє отримувати тягу від 5 до 15 мН при зміні потужності розряду в діапазоні 70–400 Вт і анодних витрат ксенону від 0,6 до 0,95 мг/с. Це відповідає режимам роботи двигуна з питомим імпульсом 850–1700 с і ККД ~ 0,3. Причому найкращі режими відносно ККД реалізуються при витратах ксенону через анод біля 0,6 мг/с.

В табл.2.13 наведені порівняльні характеристики двигунної установки КА ‘Iridium’ [7], яка забезпечує міжорбітальні переходи, при використанні електронагрівного двигуна (ЕНД), електродугового двигуна (ЕДД), стаціонарного плазмового двигуна (СПД) та іонного двигуна (ІД).

Наведені в табл.2.13 дані для супутників ‘Iridium’ в значній мірі застосовані до ШСЗ низькоорбітальної частини системи зв’язку “РОСТЕЛЕСАТ”, які передбачається розміщувати на орбітах висотою 700 км [1].

Таблиця 2.13

Тип ЕРД	ЕНД	ДД	ПД	Ц
ність ДУ, Вт	510	510	510	510
ність ЕРД, Вт	510	460	460	460
ий імпульс, с	280	500	1200	2500
РД	0,8	0,33	0,36	0,5
Н	330	62	28	19
обочого тіла, кг	100	58	24,8	12,0
реходу з орбіти:				
) км на орбіту Н = 780 км, діб				
реходу з орбіти розміщення них КА:	4	19	42	62
) км на орбіту Н = 780 км, діб				
уску з орбіти				
) км на орбіту Н = 300 км, діб	1,7	8,8	19,6	28,9
ний ресурс, год.				
V = 420 м/с)				
	6	32	71	105
	234	1240	2760	4070

2.5. Характеристики ракетних палив

2.5.1. *Кріогенні палива*

У більшості сучасних РН середнього і важкого класів у сполученні з вуглеводневими паливами і рідким воднем як окислювач застосовують *рідкий кисень* – прозора блакитна рідина, фізико-хімічні характеристики якої наведені в табл.2.14. У сполученні з воднем рідкий кисень використовується також в електрохімічних генераторах бортових енергосистем КА [8, 9].

В табл.2.14 $T_{кип}$ – температура кипіння рідкого кисню, К; $\rho(T_{кип})$– густина при температурі кипіння, г/см^3; $T_{пл}$ - температура плавлення, К; $T_{кр}$ – температура критичного стану, К; $P_{кр}$ – тиск критичного стану, МПа; ΔH^o_{293} – теплота утворення речовини в стандартних термодинамічних умовах (тиск 760 мм рт. ст., температура 293 К), кДж/моль; $i(T_{кип})$– ентальпія 1 кг палива при температурі кипіння, кДж/кг; С – питома масова теплоємкість, кДж/(кг·К); r – питома теплота пароутворення, кДж/кг; λ –

коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К); m_{φ} – масовий еквівалент (молекулярна маса, яка припадає на одиницю сумарного ступеню окислення).

Таблиця 2.14

Фізико-хімічні характеристики рідкого кисню

К	, г/см^3	,	К	Па	кДж/ ь	кДж/кг	С, Дж/ ·К)	, к/кг	, г/ К)	
	14		4			406	,68	4	21	

Кисень – найдешевший із застосовуваних компонентів ракетних палив (КРП). Зберігання і транспортування великої кількості рідкого кисню здійснюється в ємкостях об’ємом від декількох десятків до 1500 м^3 з нержавіючої сталі, обладнаних теплоізоляцією. Зовнішній, захисний кожух теплоізоляції може виконуватись також і з вуглецевої сталі.

Кисень – нетоксичний продукт, однак при роботі з ним слід застосовувати захисні засоби, які попереджують можливе обмороження. У контакті з органічними речовинами при наявності навіть незначного теплового імпульсу – це пожежо- і вибухонебезпечний продукт. Для запалювання таких матеріалів як пароніт, гума, бавовняна тканина, поліетилен, в атмосфері достатньо кисню, щоб нагріти їх всього на 200–300º С.

Різке стиснення органічного матеріалу, насиченого киснем (наприклад, при падінні важкого предмета на бетон, облитий рідким киснем), може викликати загоряння і вибух. При контакті з оливами кисень може утворювати з деякими компонентами активні ендотермічні перекисні сполуки, накопичення яких також може призводити до вибуху. Тому контакт рідкого кисню з такими речовинами у будь-якому випадку недопустимий.

Перед заповненням киснем нова ємкість повинна бути знежирена. При перекачуванні рідкого кисню виконується попереднє “охолоджування” системи малою витратою продукту. Без цього в “гарячій” системі утворюється інтенсивний потік газифікованого кисню, який при наявності різких поворотів та перепадів тиску на елементах системи (вентилі, крани і т.п.) може викликати загоряння металу.

До кріогенних палив відноситься також рідкий водень – безбарвна прозора рідина із своєрідними фізичними характеристиками (табл.2.15).

У табл.2.15 $\nu(T_{кип})$ – кінематичний коефіцієнт в’язкості рідкого водню при температурі кипіння.

Таблиця 2.15

Фізико-хімічні характеристики рідкого водню

п	кип)				ип)		п	кип)	ип)	кип)
4	71			8	00	7	4	5	18	$\cdot 10^{-6}$

Суттєвою особливістю водню є його підвищена розчинність в металах, яка зростає з підвищенням температури (до 600 К), що негативно впливає на механічні властивості металів, особливо вуглецевої сталі.

Водень самозапалюється тільки з фтором, тому запуск воднево-кисневих двигунів здійснюється з застосуванням піротехнічного або факельного (з електрозапалом) запалювання пониженими спочатку витратами палива.

Газоподібний водень в сумішах з повітрям або киснем – це надзвичайно вибухонебезпечна речовина: 1) широкі кон-центраційні границі горючості сумішей з повітрям 4–74 %, з киснем 4–90 %, для порівняння – для метану з повітрям цей параметр складає 5,5–15 %, для гасу з повітрям – 1,5–7,5 %; 2) для запалювання суміші достатньо незначної локальної енергії теплового імпульсу – енергія електричного розряду складає 0,02 мДж (для вуглеводневих палив 0,25–0,3 мДж); 3) швидкість поширення полум’я в суміші на порядок вища порівняно з вуглеводнями.

Однак горіння відкритих проливів водню порівняно малонебезпечне. Головну вибухову небезпеку несуть суміші з повітрям, які утворюються в закритих або напівзакритих ємкостях або інших елементах техніки.

Гасіння водню, що горить, можна здійснювати водою, азотом, водяною парою. В спорудах, де виникають потенційно небезпечні воднево-повітряні суміші, застосовують системи газової нейтралізації, наприклад, на основі суміші азоту з хладонами (фреонами).

Слід відмітити, що кріогенні палива вважаються найбільш екологічно чистими.

2.5.2. *Азотні окислювачі*

Азотна кислота – прозора жовтувата рідина, яка “димить” на повітрі у зв’язку з виділенням оксидів азоту. Крім власне кислоти HNO_3 в ній

міститься ~0,3 % NO_2 та ~1,7 % H_2O (при T = 293 К). Основні фізико-хімічні характеристики продукту наведені в табл.2.16 [8, 9].

Азотна кислота – хімічно активний продукт, який з рядом палив (аміак, амін, гідразин та його похідні тощо) дає самозапалювання з прийнятним періодом затримки. З вуглеводневими паливами, особливо з парафінами, активність його низька; з неграничними і ароматичними вуглеводнями реакції йдуть уже при звичайних температурах достатньо активно з розігріванням суміші до 70–100 ºС за кілька десятих секунди, але без запалювання. Для запалювання необхідно нагріти суміш до 300–400 ºС, що значно нижче, ніж для вуглеводневих палив з киснем.

Таблиця 2.16

Фізико-хімічні властивості азотної кислоти

$T_{кип}$, К	$T_{пл}$, К	ρ_{293}, г/см^3	C_{293}, кДж/кгК	λ_{293}, Вт/мК	ν_{293}, мм^2/с	ΔH^o_{293}, кДж/моль	$_{293}$, Дж/кг	m_φ
357	231	1,51	1,76	0,259	0,53	174	760	25,2

При будь-якій температурі відбувається розклад кислоти згідно з реакцією:

$$2HNO_3 \sqrt{} N_2O_4 + H_2O + 0{,}5O_2 - Q,$$

причому тим інтенсивніше, чим вищі концентрація кислоти і її температура, що знижує якість окислювача у зв'язку із втратою кисню і накопиченням води (Q – теплота реакції).

На практиці відпрацьовані і знайшли застосування суміші на основі азотної кислоти з добавкою ефективних інгібіторів корозії стінок паливних баків.

Азотнокислі окислювачі – це потрійні системи, що складаються з азотної кислоти (основа), чотириокису азоту (азотний тетраксид) – до 30 % і води (до 2 %) з добавкою невеликої кількості інгібіторів корозії – речовин, які знижують агресивність окислювача по відношенню до конструкційних матеріалів паливних баків [8, 9]. Як інгібітори корозії використовують ортофосфорну кислоту, фторид водню (плавикову кислоту) і йод.

Значний вміст в окислювачі тетраксиду зумовлює його бурий колір при звичайних температурах. Такі окислювачі, що містять значну концентрацію NO_2 – мономіру тетраксиду N_2O_4, називають "червона димуча азотна кислота" на відміну від "білої димучої", тобто від технічно

чистої азотної кислоти. Із зниженням температури продукт світлішає, і навпаки.

Азотнокислі окислювачі знайшли широке застосування в ракетобудуванні, як основа палив з висококип'ячими і низькозамерзаючими компонентами: в бойових ракетах середньої і малої дальності, РН типу "Космос", в двигунних установках КА "Союз" та ін., в сполученні із спеціальними вуглеводневими паливами.

Усі азотнокислі окислювачі – високо небезпечні речовини внаслідок токсичної дії оксидів азоту при їх вдиханні і руйнуючої дії окислювача на шкіру. Пари окислювача при їх вдиханні викликають подразнення слизових оболонок, кашель, головний біль, головокружіння, а при підвищеній дозі (наприклад, при вдиханні протягом 2 год повітря з концентрацією оксидів азоту ~ 0,05 мг/л) падає кров'яний тиск, послаблюється пульс, шкіра набуває блідо-сірого кольору, розвивається набряк легенів, стан ядухи; дія окислювача має прихований період протягом декількох годин. Потрапляючи на шкіру, при несвоєчасному видаленні (пізніше 4–5 сек) окислювач викликає сильні теплові опіки, але з наслідками, характерними для хімічних опіків, – з довго не заживаючими виразковими утвореннями.

При попаданні в очі можлива втрата зору.

Систематичне вдихання малих доз оксидів викликає хронічний кашель, руйнування зубів, розлад травлення, сну, пониження опірності хворобам.

Реально можливі концентрації парів, наприклад, при демонтажі заправочних комунікацій, при нейтралізації проливів окислювача, зачистці ємкостей та при інших роботах, можуть досягати 10–20 мг/л і більше. Запах продукту відчувається при концентрації понад 0,01–0,02 мг/л, а колір (бурий "дим") – при концентрації понад 1 мг/л.

Гранично допустимі рівні дії окислів азоту та їхніх похідних на компоненти природного середовища наведені в табл.2.17.

Таблиця 2.17

Гранично допустимі рівні дії окислів азоту і їхніх похідних на компоненти природного середовища

Речовина	Гранично допустимі концентрації				
	Повітря робочої зони	с теки	мосф. повітря, мг/м^3	ода водойм, мг/л	нт

			макси-мально разова	середньо-добова	госп. побут.	рибо-господар.	мг/кг
кис азоту	,0		085	,02	–	–	–
ратіон	–		–	–	,0	0,0	0,0
ритіон	–		–	–	3	,08	–

Нейтралізація азотних окислювачів здійснюється лужними середовищами – водними розчинами каустичної (NaOH) або кальцинованої (Na_2CO_3) соди; може використовуватись гашене вапно $Ca(OH)_2$. Широко застосовуються водні розчини аміаку з концентрацією 5–20 %; при концентрації понад 20 % температура замерзання розчину складає –25 ºС, при цьому нейтралізуючим агентом є гідрат окису амонію NH_4OH.

Азотний тетраксид – при нормальній температурі темно-бура рідина, інтенсивно “димуча” на повітрі. З підвищенням температури бурий колір підсилюється, що зумовлено наявністю в рідині діоксиду азоту NO_2, оскільки азотний тетраксид являє собою рівноважну систему $N_2O_4 \leftrightarrow 2NO_2$, в якій з підвищенням температури рівновага переміщується у бік діоксиду азоту.

Окислювач має більше, ніж в три рази меншу в’язкість порівняно з азотнокислими окислювачами і високу хімічну активність: у сполученні з пальним на основі гідразину і його похідних він забезпечує самозапалювання з $\tau < 0{,}004$ с (при Т = 293 К). Основні характеристики окислювача подані в табл.2.18.

Таблиця 2.18

Фізико-хімічні властивості азотного тетраксида

п,	$T_{пл}$, К	,	, $м^3$	, кг/кг	C_{293}, ж/(кгК)	,93, (мК)	, ^{2}/с	, кг/кг	
5	262		5	5	1,54	132	37	3	

Навіть не інгібований окислювач азотний тетраксид практично не агресивний відносно конструкційних матеріалів, якщо вміст технологічних домішок у ньому не перевищує допустимих значень, однак із збільшенням

вмісту домішок агресивність помітно зростає. Це токсичний продукт з ГДК = 0,002 мг/л. При роботі слід дотримуватися тих же правил безпеки, що й при роботі з азотнокислими окислювачами. Нейтралізація окислювача здійснюється лужними середовищами.

Окислювач широко застосовується в ракетобудуванні у сполученні з пальним – несиметричним диметилгідразином (НДМГ). На цьому паливі у 60-ті роки створена і успішно функціонує важка РН “Протон-К” – найбільш потужний у світі за вантажопідйомністю носій на висококиплячих компонентах палива.

Азотний тетраксид широко застосовується також в США у ракетах серії “Титан” та в допоміжних системах КА, у сполученні з пальним “Аерозин-50” (50 % гідразину + 50 % НДМГ) і монометилгідразином.

2.5.3. *Перекис водню*

Перекис водню знайшов широке застосування, як однокомпонентне паливо і може використовуватись як ефективний окислювач [8, 9].

Перекис водню – це прозора безбарвна рідина з легким запахом лугу, добре змішується з водою та іншими полярними рідинами і практично не змішується з вуглеводнями нафтового походження. Він використовується у вигляді водних розчинів різної концентрації. Фізичні характеристики перекису водню в залежності від концентрації наведені в табл.2.19

Таблиця 2.19

Фізичні характеристики перекису водню

-трація, %	$_{93,}$ м^3	, К	, К	$_{3,}$ к/кг	$_{93,}$ ^{2}/с	$C_{293,}$ ж/(кг·К)	$_{293,}$ /(мК)
80	34	48	06	540	93	2,68	–
90	39	1,5	4	500	89	2,43	,55
00	45	2,5	23	570	86	2,39	–

Перекис водню – хімічно нестійка сполука, що пояснюється енергетичною нестійкістю зв’язку між атомами кисню в молекулі. Розкладу перекису водню сприяють нагрівання, ультрафіолетове випромінювання, каталітичне для різних домішок, особливо іонів важких металів (Pb, Cr, Fe, Mn), а також специфічних ферментів, які містяться в клітинах рослин, деяких грунтах. Металам з постійною валентністю (Al, Mg, Be) розкладаюча дія на перекис водню не властива.

Для підвищення хімічної стабільності перекису водню здійснюються такі заходи:

- вибір відповідного матеріалу для ємкості і комунікацій, що знаходяться у контакті з перекисом водню;
- введення у перекис спеціальних стабілізуючих його стан добавок (інгібіторів розкладу);
- вибір оптимальної (з врахуванням і енергетичних властивостей) робочої концентрації, оскільки із зниженням концентрації стабільність перекису водню зростає, але енергетичні характеристики погіршуються.

Застосовується перекис водню як однокомпонентне паливо для приводу турбонасосних агрегатів деяких типів рідинних двигунів, а також у двигунних системах малої тяги КА.

Завдяки доволі великому вмісту кисню в продуктах розкладу (~ 47 % у 100 % -му перекисі) і значному власному ефекту розкладу, H_2O_2 є ефективним окислювачем у двокомпонентних паливах.

Найбільш зручним для реалізації способом розкладу перекису водню є пропускання його через блок твердого каталізатора. Для перекису водню з концентрацією 80–85 % широко застосовуються тверді каталізатори на основі марганцевокислого калію $KMnO_4$, який наноситься за спеціальною технологією на тверді частки з окисленого високопористого заліза.

Перекис водню – пожежонебезпечний продукт. Вдихання парів перекису водню спричинює токсичну дію, а також сильне подразнення, аж до руйнування слизових оболонок дихальних шляхів та очей, набряк гортані і легенів. При попаданні рідкого перекису водню на шкіру відчувається сильне печіння, утворюється біла пляма. Однак при своєчасному обполіскуванні шкіри холодною водою ці явища швидко проходять.

У повітрі робочої зони $ГДК_{р.з}$ перекису водню складає 0,3 мг/м^3. Запах пари нагадує запах лужних миючих засобів, але завдяки низькій летучесті продукту відчутні концентрації парів утворюються лише при попаданні H_2O_2 на нагріті поверхні ($T > 50^o$ C).

Розлив H_2O_2 завжди пожежонебезпечний, оскільки при цьому можлива наявність каталітично активних речовин у сполученні з горючими матеріалами.

Для тривалого зберігання і транспортування перекису водню придатні ємкості лише із чистого алюмінію (99,6 % Al), як найбільш каталітично пасивного матеріалу, а при обмеженому терміні зберігання

(кілька тижнів) – також із алюмінієвих сплавів; із пластмас найбільшою пасивністю визначаються фторвуглеводневі сполуки, поліетилен, полівінілхлориди.

Пролитий перекис водню змивається з відповідних поверхонь водою.

2.5.4. Вуглеводневі палива

Найбільш поширеними вуглеводневими паливами в РКТ є палива Т–1 і РГ–1 (Росія) та ІР–5 і RP–1 (США). Особливості складу і характеристики сучасних вуглеводневих палив наведені в табл.2.20.

Таблиця 2.20

Склад і характеристики сучасних вуглеводневих палив

Показчик	-1 сія)	-1 сія)	P-5 ША)	-1 IA)
Густина при 20°С, г/см^3	81	83	,82	8
Температура фракційної перегонки, °С не більше:				
початок перегонки	50	95	– 189	-
перегонка 10 %	75	0	– 202	99
перегонка 50 %	-	25	– 220	9
-“- 90 %	70	50	– 260	42
-“- 98 %	80	70	– 290	-
Кінематичний коефіцієнт в’зкості, мм^2/с:				
При 20°С ≥	5	5	–	-
При – 40°С ≤	6	6	6,4	8
Кислотність, мг КОН на 100 мл ≤	7	5	0,5	-
Йодне число, rI, на 100 г пального, ≤	0	0	Вт$_2$)	-
Вміст фактичних смол, мг на 100 мл, ≤	5	тс.	1	-
Температура початку кристалізації, °С, ≤	0	0	– 47	9
Температура спалаху, °С, ≥	0	-	60	4
Загальний вміст сірки, %, ≤	1	01	,04	-
в т.ч. меркаптанової	-	тс.	,001	-
Вміст, %, ароматичних вуглеводнів, ≤	0	5	– 20	-

Закінчення табл.. 2.20

Паливо Т–1 – це безбарвна або жовтувата рідина з запахом нафтопродуктів; виготовляється прямою перегонкою нафти малосірчаних сортів. Усереднений елементарний та груповий склади палива надано в табл.2.21.

Таблиця 2.21

Усереднений елементарний та груповий склади палива Т–1

	Хімічні елементи						Групи вуглеводнів		
						ани	клани	ени	кени
г, %	3	6	4	6	2	-50	)-60	-20	-1,5

Для розрахунків можна прийняти, що склад палива при умовній молекулярній масі $\mu_{ум}$ = 100 описується приблизною формулою $C_{7,2}H_{13,6}$.

Паливо Т–1 не самозапалюється з киснем та іншими окислювачами, крім фтору і його сполук. Тому для запуску двигуна застосовують спеціальні піротехнічні пристрої або пускові палива, що самозапалюються з киснем.

Паливо Т–1 не агресивне до конструкційних матеріалів (вуглецева сталь, алюмінієві сплави). Ємкості для зберігання і транспортування палива виготовляються з вуглецевої сталі. Доволі широкий вибір і пластичних матеріалів, стійких у контакті з паливом: спеціальні сорти гуми, поліетилен, полівінілхлорид та ін.

Токсична дія палива Т–1 проявляється слабо, що є характерним для нафтопродуктів. Однак при великій концентрації парів у повітрі можуть відчуватися головний біль, нудота, а при хронічному вдиханні парів можуть розвинутися розлади нервової системи, серцевої діяльності. Гранично допустима концентрація парів у повітрі – 0,3 мг/л.

При отруєнні парами палива рекомендуються вдихання нашатирного спирту, кисню, застосування заспокійливих засобів.

Паливо має порівняно низьку температуру спалаху (на рівні 30ºС) і тому пожежонебезпечне в умовах зберігання при підвищених температурах.

Паливо РГ–1 не відрізняється від продукту Т–1 за зовнішніми ознаками, але має суттєво інший груповий склад (табл.2.22): в ньому дуже малий вміст ароматичних вуглеводнів і практично відсутні олефіни; з врахуванням цього стає дещо більшим співвідношення водню і вуглецю (Н/С).

Таблиця 2.22

Усереднений елементарний та груповий склади палива РГ-1

	мічний елемент		Групи вуглеводнів			
	С	Н	пкани	клани	рени	ефіни
іст, мас	86	~ 14	25–30	70	< 5	сутні

Порівняно з Т–1 паливо має значно більш високу термоокислювальну стабільність, відповідно кращі охолоджувальні властивості; кращі кінетичні особливості в процесі горіння; вищу температуру спалаху (~ 60°С); дещо вищу густину. В енергетичному відношенні палива Т–1 і РГ–1 практично рівноцінні. Інші експлуатаційні характеристики палива РГ–1 аналогічні характеристикам Т–1. Вартість його приблизно в 1,5 рази вища.

Паливо RP–1 (табл.2.20) має підвищений вміст нафтенових вуглеводнів і за властивостями близьке до палива РГ–1; паливо JP–5 як за складом, так і за властивостями, приблизно аналогічне Т–1. Бромне число 5, яке характеризує вміст олефінів, рівноцінно йодному числу 3 із врахуванням співвідношення атомних мас брому і йоду.

Гранично допустимі рівні дії вуглеводневих палив на компоненти природного середовища наведені в табл.2.23

Таблиця 2.23

Гранично допустимі рівні дії вуглеводневих палив
на компоненти природного середовища

Речовина	Гранично допустимі концентрації				
	овітря обочої и, мг/м^3	Клас безпеки	осферне овітря, мг/м^3	ода водойм	
				сп. бут.	госп.
РГ–1 (нафтил) Т–1	300 300	4 4	1,2 5,0	,01 ,01	05 05

Слід відмітити, що при перемішуванні вуглеводневих і гідразинових пальних стабільність останніх у цих середовищах зростає за рахунок розчину гідразину у вуглеводнях.

2.5.5. *Паливо на основі гідразину*

Гідразин і деякі алкілпохідні – найкращі за енергетичною ефективністю сучасні висококип’ячі палива, що пов’язано з їхньою високою ентальпією і достатньо сприятливим елементним складом. Всі вони самозапалюються у сполученні з азотнокислотними та оксидазотними окислювачами [8, 9].

У сучасних РН як паливо застосовуються гідразин, монометилгідразин (ММГ) і несиметричний диметилгідразин (НДМГ).

Основні фізичні характеристики вказаних палив подані в табл.2.24. Як видно з табл.2.24, всі вони мають достатньо високу густину і цілком прийнятні теплофізичні властивості, крім підвищеної температури замерзання у гідразину. При необхідності останній недолік виправляється використанням гідразину у суміші з 50 % НДМГ (пальне “Аерозин-50”), що широко практикується у США.

Загальним і по суті єдиним серйозним недоліком цих палив є їхня надзвичайно висока токсичність (ГДК = 10^{-4} мг/л); крім того, порівняно висока вартість, приблизно в 20–25 разів вища від вартості палив типу гасу.

Таблиця 2.24

Основні фізичні характеристики гідразинових палив

Паливо	$T_{пл}$, К	$T_{кип}$, К	$T_{кр}$, К	$p_{кр}$, МПа	ρ_{293}, г/см^3	C_{293}, кДж/(кгК)	г кДж/кг	$_{93}$, Вт/м·К)	ν_{293}, мм^2/с	i_{293}, кДж/кг
дразин	5	,5	3	,2	1	6	0	2	6	77
ИМГ	1	,5	7		72	4	3		5	57
ДМГ	5	6	3	8	35	8	5	7	8	30
Аеро-н-50”	,5	3	7	3	9	9	9	5	7	80

Гідразин – безбарвна рідина з різким, дуже неприємним запахом, добре розчинюється у воді, спиртах та інших полярних рідинах; з вуглеводнями практично не змішується. Він має таку хімічну формулу:

```
H          H
    \      /
  N – N
    /      \
H          H
```

Особливостями гідразину як палива є: велика ентальпія, дуже високий вміст енергетично пасивного азоту (87,5 %) і пов'язане з ним дуже мале теоретичне співвідношення компонентів у гідразинових паливах, отже, велика доля цього палива в них.

При нагріванні парів гідразину вище 550–600 К (при наявності каталізаторів і при більш низькій температурі парів і навіть в рідкій фазі) він здатний розкладатися з виділенням тепла.

Каталізаторами розкладу гідразину можуть бути ванадій, молібден, хром, вольфрам, але найбільш ефективні каталізатори на основі "платинових металів" – іридію, радію, рутенію, які наносяться на тверді частки пористого носія, наприклад, Al_2O_3. Вони забезпечують розклад гідразину і в рідкій фазі при звичайних температурах. У США основним каталізатором в гідразинових двигунах "Schell–405" є іридій (33 %) на Al_2O_3.

Як однокомпонентне паливо годиться лише "особливо чистий" гідразин, оскільки технологічні домішки, накопичуючись у ньому, різко знижують активність каталізатора, "отруюють" його.

Як пальне у двокомпонентних паливах, гідразин у чистому вигляді не застосовується через недостатню його термостабільність при використанні для охолодження двигуна, що особливо небезпечно при перехідних режимах роботи двигуна, зокрема, при його виключенні, коли витрати пального різко скорочуються. Певною експлуатаційною незручністю є також висока (+20ºС) температура замерзання продукту.

Ці недоліки суттєво послаблені використанням гідразину в суміші з НДМГ, яка називається "Аерозин–50" (табл.2.24), а також у сполученні з азотним тетраксидом (носії серії "Титан", деякі КА).

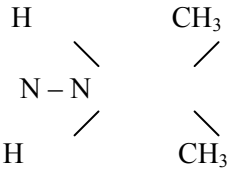
Гідразин високої чистоти знаходить все більше застосування як однокомпонентне паливо у двигунах малої тяги бортових КА. Пропонується це паливо використовувати в ступенях твердопаливних ракет для створення управляючих імпульсів.

Гідразин – сильний відновлювач, легко окислюється різними окислювальними середовищами; з азотнокислотними, оксидазотними і фторними окислювачами він самозапалюється з дуже малою затримкою. Суміш парів гідразину з киснем самозапалюється при нагріванні всього до 500–600 К, а в контакті з оксидом заліза – навіть при температурі ~ 300 К.

Несиметричний диметилгідразин (НДМГ) найбільш широко застосовується в РКТ. За зовнішнім виглядом – це безбарвна рідина з різким неприємним запахом "амінного" походження. Крім власне НДМГ – основного компонента, за яким продукт отримав свою назву, він включає

також деяку кількість домішок – неминучий наслідок технології отримання пального або результат окислювального розкладу його (метилендиметилгідразин – $(CH_3)_2N_2CH_2$, диметиламін $(CH_3)_2NH$, вода).

Хімічна формула НДМГ має такий вигляд:



Вартість НДМГ в 25–30 разів вища вартості вуглеводневих пальних.

Пари НДМГ при нагріванні їх вище 600 К розкладаються з тепловиділенням і утворенням газоподібних продуктів, тому при відповідній організації процесу це пальне може виконувати роль однокомпонентного палива, яке за ефективністю мало поступається перед гідразином. Для його розкладу можна використати каталізатори, які застосовуються для гідразину. При одноразовому запуску реактора розкладу можливі також інші засоби ініціювання початку процесу, наприклад, піротехнічні (двигунні установки ракет “Космос”).

Як пальне, НДМГ широко застосовується в РКТ в паливах з азонокислотними окислювачами, включаючи азотний тетраксид. З азотно-кислотними окислювачами НДМГ взаємодіє дуже активно, з самозапалюванням, з періодом затримки ~ 0,004 с (при Т = 293 К). Пари цих компонентів (при достатній їхній концентрації) можуть самозапалюватися (на відміну від амінних пальних) при звичайних температурах (вище 15ºС). При температурі ~50ºС мінімально достатні для самозапалювання концентрації парів складають 0,1–0,2 г/л. З киснем НДМГ не самозапалюється.

Пальне не агресивне до конструкційних матеріалів. Для зберігання і транспортування його застосовують ємкості з маловуглецевої сталі, для баків ракет і КА – із алюмінієвих і титанових сплавів.

Постійний контакт НДМГ з повітрям неприпустимий, оскільки він активно окислюється киснем повітря з утворенням води, формальдегіду, диметилнітрозоаміну, смолистих продуктів полімеризації метиленів та інших речовин. Зовнішньо це проявляється в забарвленні – від жовтого до коричневого. Тому продукт зберігають в герметично закритих ємкостях, при максимальному ступені заповнення, під азотною “подушкою” при надлишковому тиску.

Гідразинові пальні небезпечні в пожежному відношенні в умовах зберігання і транспортування, оскільки їх суміші з повітрям здатні горіти майже при будь-якому вмісті пального. Продукт, що горить, зручніше всього гасити водою, оскільки всі гідразинові пальні добре розчиняються нею, але кількість води повинна бути достатньо великою, - приблизно двократним відносно пального, оскільки навіть 50 % -ний розчин ще здатний горіти.

Усі гідразинові пальні надзвичайно небезпечні в експлуатації через високу токсичність.

Ураження пальним можливе при вдиханні парів і в результаті проникнення його через шкіру. Симптомами отруєння НДМГ (після декількох годин прихованої дії) можуть бути:

– при легкому отруєнні – головний біль, нудота, слабкість, головокружіння, хрипи в легенях, падіння пульсу, підвищення артеріального тиску; через 5–6 днів нормальний стан організму відновлюється;

– при отруєнні середньої важкості – ті ж симптоми у більш різкому прояві, емоційна нестійкість, судомні рухи, явище кисневої недостатності; хворобливі явища минають через 1–2 тижні;

– у важкій формі – сильне збудження центральної нервової системи, багатогодинні часті судоми, загальна гіпоксія (зниження вмісту кисню в тканинах), падіння тиску, втрата свідомості, набряк легенів; у разі несмертельного наслідку покращення здоров’я настає через 2–3 тижні.

Безпосередньо на шкіру НДМГ не чинить руйнівної дії, гідразин же викликає хімічний опік; обидва пальних дуже небезпечні при попаданні у рідкому вигляді в очі.

Гранично допустимі рівні дії НДМГ і найбільш токсичних продуктів його окислення на компоненти природного середовища наведені в табл.2.25.

Таблиця 2.25

Гранично допустимі рівні дії НДМГ і продуктів його окислення на компоненти природного середовища

Речовина	Гранично допустимі концентрації					
	Повітря	Клас	Атмос. повітря, мг/м^3	Вода водойм, мг/л	Грунт,	Харчові

			макс. разова	середньо-добова	госп. побут.	рибогосп.		
НДМГ	1		01	001	2	005	ГДР)	-
ТМТ	0		05	005	1	-	–	-
НДМА	1		-	001	1	-	–	(м’ясо, но)
ФА	5		35	003	5	25	,0	-

Крім поданих в табл.2.25, НДМГ характеризують також такі показники, визначені за результатами натурно-експериментальних досліджень:

– токсичність при пероральному введенні (летальна доза ЛД, мг/кг маси тварини) < 50–200 мг/кг;

– стабільність в грунті більше 12 місяців;

– міграція в грунті > 60–200 см;

– перехід в рослини і збереження в них на протязі більше, ніж 12 місяців;

– вплив на харчову цінність;

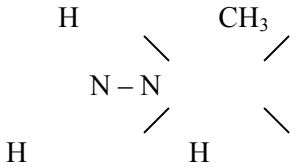
– вплив на санітарний стан грунту при концентрації понад 20 мг/кг.

Допустима короткочасна, 10–30 хв, робота без захисних засобів в атмосфері з підвищеною в 10–20 разів порівняно з ГДК концентрацією гідразинових пальних.

У США гранично допустима концентрація гідразину в повітрі робочої зони прийнята 0,5 г/м^3, а для НДМГ – 1 г/м^3. Нейтралізація значних проливів пального і промислових стоків здійснюється нейтралізаторами, які містять хлор, – хлорним вапном або препаратом ДТС-ГК (двотретинноосновна сіль гіпохлориту кальцію).

Монометилгідразин (ММГ) почали використовувати значно пізніше інших гідразинових пальних. Він має добрі фізичні властивості, в тому числі сприятливі температури кипіння і замерзання. Енергетичні характеристики цього пального, як і пального “Аерозин–50”, дещо гірші, ніж у гідразині, і кращі, ніж у НДМГ [8, 9].

Експлуатаційні властивості у ММГ приблизно такі, як і в НДМГ. Хімічна формула ММГ така:



Це пальне все більше витісняє “Аерозин–50” з практики і застосовується у сполученні з азотним тетраксидом, наприклад, у бортових двигунних системах апарата “Спейс Шаттл”, у тому числі

в доволі потужному двигуні орбітального маневрування, а також у двигунних установках третього ступеню французької РН “Аріан–5”, в ДУ цілого ряду КА, створених в останні роки. При цьому пальне успішно використовується і для регенеративного охолодження двигунів.

2.5.6. *Тверді палива*

У двигунах твердопаливних РН використовуються сумішні тверді ракетні палива (СТРП) – механічна суміш окислювача, паливозв’язуючої речовини (палива) і металічної добавки (табл.2.26) [8, 9]. Як окислювач в СТРП застосовуються в основному неорганічні речовини – солі кислот, які містять азот і хлор – HCl, HNO_3, HNO_2 і т.д.

Таблиця 2.26

Склад і основні характеристики твердих ракетних палив

СТРП / ад	NEPE	HTPB	CTPB
рат амонію	10	70	70
н	45	–	–
ній	20	20	18
зв’язуюча речовина	25	10	12
а, г/см^3	поліетилен-гліколь + нітрогліцерин	–	–
	1,87	1,8	1,78

Найбільш поширеним окислювачем до цього часу залишається перхлорат амонію (ПХА), який має відносно невеликий вміст кисню (34

%), відносно невисоку температуру і велику теплоту розкладу (розкладається на газоподібні продукти з відносно невисокою молекулярною масою), малу гігроскопічність.

Широке поширення в СТРП отримали також нітроамінні окислювачі, насамперед октоген. Палива, що містять октоген, з достатньо високим рівнем енергомасових характеристик застосовуються у маршових двигунах. Октоген має відносно низьку температуру плавлення, яка практично співпадає з температурою його розкладу. Являючись одночасно окислювачем і потужною вибуховою речовиною, октоген здатний самостійно горіти зі швидкістю, вищою від швидкості горіння ПХА, особливо при підвищених тисках. Через низьку забезпеченість окислювальними елементами октоген використовується, як правило, у сполученні з іншими окислювачами.

Паливозв'язуюча речовина (ПЗР) виконує функцію забезпечення фізико-механічних і реологічних (грец. "рео" – течу) характеристик. Тому збільшення кількості окислювача в складі палива можливе лише до певної межі. Як ПЗР у СТРП використовуються органічні високомолекулярні сполуки: епоксидні, поліуретанові, поліефірні смоли, полісульфідні каучуки, полібутадієни, поліізобутилени, нітрополімери тощо. ПЗР складається з полімерної матриці (основи) і пластифікатора, від природи якого в значній мірі залежать механічні, балістичні, технологічні характеристики, термічна стабільність і температурний діапазон експлуатації палив. Найбільш широко поширеним пластифікатором є трансформаторне масло.

Практично всі сучасні СТРП містять метали у вигляді дрібнодисперсних порошків. Введення металу дозволяє значно підвищити питомий імпульс, збільшити густину, підвищити стабільність при горінні і регулювати балістичні характеристики. Достатньо ефективним, найбільш дешевим і поширеним металом є алюміній. Кількість його у паливах повинно бути не менше певного значення, що складає 15–20 %.

Одним з напрямків підвищення питомого імпульсу СТРП в останні роки стала заміна Al на інші метали: бор (B), берилій (Be), а також заміна металу на гідриди металу: гідрид літію (LiH), гідрид алюмінію (AlH_3), гідрид берилію (BeH_2).

Всі тверді палива відносяться до пожежонебезпечних і в певній мірі вибухонебезпечних продуктів. Тому роботи з ними (транспортування, зберігання, перевірка стану, стиковка ступенів, монтаж піротехнічних

систем тощо) повинні відповідати вимогам безпеки, в тому числі охоронним.

При транспортуванні двигунів і зарядів приймаються заходи проти поштовхів, тряски та інших механічних перевантажень, небезпечних у зв'язку з можливістю появи тріщин у паливі. Якщо трапилося випадкове падіння виробу з будь-якої висоти, воно уже непридатне для експлуатації.

У сумішних палив можлива деяка зміна механічних і теплофізичних властивостей з часом у зв'язку з повільною зміною фізико-хімічних характеристик зв'язуючої речовини. Ступінь змін залежить в тому числі і від волого-температурних умов середовища, їх коливань; коливання температури можуть викликати зміни у мікроструктурі палива у зв'язку з місцевими термічними напругами. З врахуванням цього сопла двигуна закриваються герметичними заглушками (проти вологи), а сам двигун при транспортуванні і зберіганні, в тому числі у стартовому розміщенні, повинен знаходитися в умовах, наближених до термостатичних. Термостатичні умови необхідно забезпечувати також і в зв'язку з впливом температури палива на швидкість його горіння і відповідно на балістичні характеристики.

2.6. Продукти згоряння ракетних палив

Для оцінки впливу РКТ на НПС важливе значення мають не лише самі компоненти ракетного палива, а й продукти їхнього згоряння як при нормальному функціонуванні техніки, так і при різного роду нештатних ситуаціях.

Склад продуктів згоряння експериментальним шляхом (стендові випробування ДУ, реальні запуски РН) визначити надзвичайно важко, тому він розраховується, в основному, на різного ступеню складності теоретичних моделях [10, 11].

2.6.1. *Розрахункові дані про склад продуктів згоряння ракетних палив*

Викиди рідинних ракетних двигунів, які працюють на паливній парі "рідкий кисень – рідкий водень", містять основні продукти згоряння – H_2 і H_2O, що є біологічно нейтральними речовинами. При нерівноважному режимі витікання продуктів згоряння в невеликих кількостях додатково утворюється атомарний кисень, H і OH.

Викиди рідинних ракетних двигунів, що працюють на паливній парі “рідкий кисень – вуглеводневе паливо (метан, гас)”, містять у своєму складі, в основному, O_2, H_2O і CO_2. При нерівноважному режимі витікання в складі продуктів згоряння можуть бути у невеликих кількостях (~ 1%) окис вуглецю, атомарні водень, кисень, а також ОН.

Продукти згоряння азотних окислювачів (азотний тетраксид, азотнокислий окислювач) та гідразинових палив (гідразин, аерозин, НДМГ) при рівноважному протіканні хімічних реакцій у соплі на 85-95 % складаються з біологічно нейтральних компонентів (води, азоту, водню, кисню, вуглекислого газу тощо). У випадку “замороженого” режиму витікання у складі продуктів згоряння зменшується доля біологічно нейтральних компонентів (до 80-90 %), зростає доля окису вуглецю, в незначних кількостях утворюються оксиди азоту, кислоти, що містять азот. При даному режимі витікання у складі продуктів згоряння ракетних палив містяться токсичні речовини – синильна кислота, аміак, формальдегід. Хоча вказані речовини мають низькі значення ГДК, їх вміст в продуктах згоряння настільки незначне, що їх впливом при розгляді питання про дію запусків РН на НПС можна знехтувати.

При різних режимах витікання продукти згоряння сумішевих твердих ракетних палив на 15-25 % складаються із біологічно нейтральних компонентів (води, азоту, водню, вуглекислого газу тощо). У випадку нерівноважного витікання продуктів згоряння із сопла приблизно 10-15 % маси продуктів згоряння займають сполуки з невивченою токсичністю – сполуки алюмінію, хлору, азоту і вуглецю (гідроксиди, хлориди, хлорати, нітрати, нітрити, карбіди і т.п.). При рівноважному режимі витікання доля сполук з невивченою токсичністю складає не більше 3-5 %. Більшу частину продуктів згоряння (70-80 %) складають токсичні сполуки – хлористий водень, оксид алюмінію, окис вуглецю. Крім того, при нерівноважному режимі витікання у складі продуктів згоряння ракетних палив також містяться (менше 1 %) токсичні речовини – молекулярний хлор, алюміній, синильна кислота, фосген, аміак, формальдегід.

Склад і кількість продуктів згоряння ракетних палив деяких РН при різних варіантах розрахунку (без врахування догоряння) наведені в табл.2.27. В табл.2.28 надані склад і кількість продуктів згоряння при роботі двигунних установок космічних апаратів і розгінних блоків.

Таблиця 2.27

Склад та кількість продуктів згоряння, які викидаються
в атмосферу під час польоту ракетоносія

кти згоряння	Маса продуктів згоряння, які викидаються РН у шарах, кг								
	0-5 км	5-10 км	10-20 км	20-30 км	30-40 км	40-50 км	50-100 км	100-150 км	більше 150 км
РН “Космос-3 М”									
H_2	7	4	3	4	6	13	148	133	376
H_2O	9426,0	3501,0	4818,0	3461,0	2751,0	2280,0	4203,0	1130	3200
CO	7,38	3,72	28,52	33,21	109,12	328,79	870	200	570
CO_2	11370,0	4193,0	5636,0	3905,0	1708,8	1416,6	2760	1620	4570
N_2	7460	3740	3750	3740	1870	1860	2940	1350	3810
NO	100	33	32	21	10	10	45	37	55
РН “Циклон-2”									
H_2	17	10	13	16	7	24	100,3	144,7	23,7
H_2O	12330,0	4709,0	6858,0	5377,0	2404,0	2404,6	6979,0	7400	1210
CO	11,298	5,628	43,539	50,841	165,792	318,01	1480	2120	350
CO_2	14760,0	5871,0	8244,0	6089,0	4060,8	2278,4	7450	6850	750
N_2	14080	7040	7010	7060	3490	3970	9110	8350	790
NO	150	53	42	29	12	12	50	39	68

Продовження табл.2.27

кти згоряння	Маса продуктів згоряння, які викидаються РН у шарах, кг								
	0-5 км	5-10 км	10-20 км	20-30 км	30-40 км	40-50 км	50-100 км	100-150 км	більше 150 км
РН “Циклон-3”									
H_2	17	12	14	11	11	29	143,9	132	46,8
H_2O	12330,0	4709,0	6858,0	5377,0	4358,0	2404,6	6976,0	6750	440
CO	11,292	5,643	43,125	50,976	164,032	285,67	2110	1940	190
CO_2	14760,0	5871,0	8244,0	6089,0	4060,0	2278,4	7450	6850	750
N_2	14080	7040	7010	7060	3490	3970	9110	8350	790
NO	150	53	42	29	12	12	50	39	68
РН “Протон-К”									
H_2	4	3	5	2	1	17	560	510	300
H_2O	42990,0	17350,0	22130,0	17193,0	14538,0	9825,0	22740,0	20200	11250
CO	36,18	7,23	166,98	130,95	427,68	927,08	5160	4670	2680
CO_2	66160,0	26650,0	29260,0	21970,0	13376,0	8983,0	19670,0	23070	13270
N_2	56430	11270	33930	22690	11370	8200	28430	25740	14800
NO	195	87	111	87	63	69	44	32	52
РН “Зенит”									
H_2	5	3	3	2	4	31	400	690	
H_2O	25640,0	10170,0	14201,0	10630,0	8922,0	7708,0	22740,0	5251,0	
CO	7497	37,17	278,07	159,84	2046,88	2926,77	13030	18540	
CO_2	81330,0	35730,0	49280,0	33020,0	13417,0	11591,0	19670,0	7972,0	

Закінчення табл.2.2

укти ня	Маса продуктів згоряння, які викидаються РН у шарах, кг								
	0-5 км	5-10 км	10-20 км	20-30 км	30-40 км	40-50 км	50-100 км	100-150 км	більше 150 км
					‘Space shuttle’				
H_2	72	29	38	32	21	101	874	954	
CO	68920	27490	39150	28340	15620	1837			
CO_2	20940	8350	11933	8660	4761	556			
H_2O	111500	44480	55550	52430	38330	26530	237900	259500	
NO	493,9	197	289,1	222,4	143,03	32,819	162,3	177	
Cl	1588	633,3	954,5	725,2	523,9	72,33			
HCl	73380	292,70	417,20	30220	16604	1946			
Al_2O_3	106200	42350	60360	43720	24138	2838			

Примітка. Дані щодо складу продуктів згоряння наведені для найхарактерніших траєкторій виведення РН.

Таблиця 2.28

Склад продуктів згоряння КРП маршових двигунів РБ та КА

Тип двигунних установок	Продукти згоряння	Маса продуктів згоряння, що виділяються при згорянні 1 кг палива , г/кг
Двигунні установки КА		
ДСТ-25	O_2	253,7
	H_2O	176,3
	N_2	315,9
	NO	27,1
	CO	16,6
	CO_2	193,6
	Решта	16,8
ДСТ-100А	O_2	253,8
	H_2O	175,8
	N_2	315,9
	NO	27
	CO	16,7
	CO_2	193,4
	Решта	17,4
ДОТ-5	N_2	875
	H_2	121
	Решта	4
Маршові двигунні установки РБ		
РБ “Бриз-М”	O_2	19,8
	H_2O	196,6
	N_2	354,4
	CO	55,4
	CO_2	363,6
	Решта	10,2
РБ “Бриз-К”	O_2	19,2
	H_2O	202,1
	N_2	354,1
	CO	61,5
	CO_2	355,8
	Решта	7,3
РБ “КВРБ”	N_2	32,3
	H_2	954,7
	Решта	13,0

2.6.2. *Токсико-гігієнічні характеристики продуктів згоряння*

У загальному випадку до складу продуктів згоряння ракетних палив входять такі токсичні сполуки: хлористий водень, молекулярний хлор, фосген, алюміній та його оксид, окис вуглецю, окисли азоту, формальдегід, синильна кислота (ціаністий водень), аміак.

Хлористий водень (HCl) – безбарвний газ з різким, подразнюючим запахом. Добре розчинюється у воді, утворюючи соляну кислоту. Забруднення атмосфери хлористим воднем може стати причиною випадіння кислотних опадів (дощ, сніг). Сорбується поверхнями. У повітрі з водяною парою утворює туман соляної кислоти, який може викликати отруєння в результаті надходження його через органи дихання.

Токсична дія на організм може проявлятися місцевими та загально токсичними ознаками при умові гострої та хронічної експозиції. Більша частина (до 90%) хлористого водню, який вдихається, затримується слизовою оболонкою у верхніх дихальних шляхах. При концентрації 13-21 мг/м^3 відмічається розлад слизових носа та очей. Хрипота, почуття задухи, поколювання у грудях, нежить, кашель, іноді кров у мокротинні – характерні ознаки гострого отруєння.

Концентрація хлористого водню 75-100 мг/м^3 нестерпна. При тривалій (хронічній) дії у людей розвиваються катари верхніх дихальних шляхів, бронхіти, пневмонії. Можливі ураження слизової носа, руйнування зубів. Відчуття запаху і подразнюючої дії в окремих осіб спостерігається при концентрації 0,1-0,3 мг/м^3. Невеликі кількості HCl у повітрі легше визначаються за смаком, ніж за запахом. Хлористий водень чинить токсичну дію на рослинність. До нього чутливі листв'яні рослини і чагарники, хвойні дерева. Пошкодження листя рослин з'являється при концентрації у повітрі 0,08 мг/м^3 і експозиції 90-200 годин. Особливо чутливі до хлористого водню яблука, тополя, виноград, озиме жито, ячмінь та ін. У джерелах водопостачання хлориди містяться в концентраціях 1,5-650,0 мг/л. Концентрація хлоридів 1500 мг/л небезпечна для домашніх тварин і птиці, а також для риб.

Хлор (Cl_2) – газ з характерним запахом. У воді частково гідролізується до соляної та хлорноватистої кислоти (HCl і HOCl). Подразнює верхні дихальні шляхи, реагує з вологою на поверхні дихальних шляхів.

У високих концентраціях хлор руйнує слизову оболонку легенів і плазма крові проникає через порушену слизову оболонку в альвеоли, що

викликає набряк легенів. Вдихання концентрованих парів хлору призводить до швидкої смерті від асфіксії (задуха) в результаті хімічного опіку легенів [11]. Поріг відчуття запаху хлору – 0,06–0,15 мг/м^3, концентрація 2,0–5,8 мг/м^3 викликає різко визначену подразнюючу дію, концентрація 200–300 мг/м^3 небезпечна для життя.

Концентрація вільного хлору у воді понад 0,008 мг/л токсична і смертельна для більшості видів риб. При одночасній дії хлору і фенолу вода набуває характерного і неприємного запаху і присмаку, при цьому утворюються високотоксичні хлорфеноли та діоксини.

Окис вуглецю (CO) – безбарвний газ, без запаху і смаку. Горить з утворенням вуглекислого газу. Окис вуглецю приймає участь в реакціях утворення фотохімічного смогу, який різко погіршує санітарний стан району і супроводжується негативними явищами в стані здоров'я населення. Нешкідливими вважаються концентрації 10,0 мг/м^3 при восьмигодинній дії і 40,0 мг/м^3 – при одногодинній.

Дія CO проявляється у витисненні кисню із оксигемоглобіну з утворенням карбоксигемоглобіну. При цьому порушується тканинне дихання, зменшується споживання тканинами кисню і виникає кисневе голодування; змінюється вміст білків плазми, знижується активність ферментів і вітамінів в крові. Індивідуальні відмінності в чутливості до гострих і хронічних отруєнь дуже великі, особливо чутливі діти. Важко переносять отруєння особи, які палять, страждають від бронхіту та астми, від хвороб легенів, серцево-судинних хвороб, порушень кровообігу, анемії, діабету, захворювань печінки. Зниження або підвищення температури повітря, зменшення парціального тиску кисню, підвищені фізичні навантаження, шум, вібрації підсилюють токсичну дію окису вуглецю.

При гострому отруєнні CO більше всього страждає центральна нервова система. Наслідками гострого отруєння можуть бути тривалі головні болі і головокружіння, запаморочення. При хронічному отруєнні виникають енцефалопатії, розлад дихання і функції серцево-судинної системи, можливі зміни у щитовидній та надниркoвій залозах.

Характер дії низьких концентрацій CO на здоров'я людини наведено в табл.2.29 (для порівняння – дим сигарети містить біля 503,6 мг/м^3 CO).

Таблиця 2.29

Ефекти дії низьких концентрацій CO на здоров'я людини

нцентрація, мг/м^3	Ефект дії на здоров'я людини

10–30	ивалій дії відмічається більш тривалий перебіг хвороб о-судинної системи, вегето-дистонії, погіршується атеросклерозу, зміна імунологічного стану
30–50	не отруєння
38	-годинній експозиції уповільнення реакції у тих, хто не
63	-хвилинній експозиції пригнічений стан у тих, хто не
230–1000	кружіння, головний біль, почуття слабкості, нудота, ня, зниження фізичної працездатності

Окисли азоту (NO, NO_2) – подразнюючі та пригнічуючі гази (уповільнюють процеси фотосинтезу в рослинах).

Окис азоту (NO) – безбарвний газ. Перехід NO в NO_2 в атмосфері відбувається на протязі декількох годин і суттєво залежить від температури. Окис азоту дуже інертний в хімічному відношенні. Розчинність його в 103-104 рази нижча, ніж в NO_2. З водою і луговими розчинами хімічно не взаємодіє. Деякі речовини, що містяться в атмосфері, є каталізаторами процесу переходу NO в NO_2. Окис азоту викликає метгемоглобинемію і впливає на центральну нервову і серцево-судинну системи.

Діоксид азоту (NO_2) – бурий отруйний газ з характерним запахом. При розчиненні у воді NO_2 реагує з водою, утворюючи азотну і азотисту кислоти. Вдихання пари NO_2 викликає сильне подразнення дихальних шляхів і може призвести до сильного отруєння. Можливі зміни в легенях – від помірних запалювальних реакцій слизової оболонки трахебронхіального тракту при низьких концентраціях до бронхопневмонії і гострого набряку легенів при значній дії.

Інтенсивність впливу NO_2 на здоров’я людини наведена в табл.2.30.

Таблиця 2.30

Характер дії діоксиду азоту на здоров’я людини

Концентрація, мг/м^3	Ефект дії на здоров’я людини
0,11	Максимальна невідчутна концентрація
0,2	Вплив на нюховий поріг, зміна на клітинному рівні

0,2–0, 8	Відчуття запаху і невелике подразнення у роті і зіві
0,5	Порушення механізму адаптації очей до темряви; певні епідеміологічні прояви
1–1,5	Зміни у морфології та біохімії легенів
3	Збільшення опору дихальних шляхів у хворих з хворобами бронхів
5	Збільшення опору дихальних шляхів у здорових людей
14–26	Подразнення очей і носоглотки

При вдиханні у великих концентраціях оксидів азоту виникає небезпека захворювання бронхітом, набряком легенів. Негативно впливають оксиди азоту на органи зору – звуження поля зору, гіперемія (надмірне наповнення кров'ю судин органу), фотофобія (підвищена чутливість ока до освітлення.

Викиди оксидів негативно впливають на НПС, утворюючи кислотні дощі і тумани.

Алюміній (Al) та *окис алюмінію* (Al_2O_3) – присутні в продуктах згоряння сумішевих твердих ракетних палив у вигляді високодисперсних аерозолів діаметром 2–10 мкм.

Токсичність цих речовин полягає у впливі на обмін речовин (мінеральний обмін), на функцію нервової системи, фіброзоутворення легеневої тканини.

Механізм інтоксикації пов'язаний з дією на ядерний хроматин, а також посередньо – шляхом заміщення інших елементів або зміни активності ряду ферментних систем.

Висока комплексотворча здатність Al зумовлює зниження активності лактатдегідрогенази, лугової фосфатази, вугільної ангідрази, церуплазміну, каталази, блокування активних центрів ферментів, які приймають участь у кровотворенні.

Важливу роль у патогенезі інтоксикації Al відіграють конкурентні відносини його з фосфором (P) і кальцієм (Ca). Надлишок солей алюмінію знижує затримку Ca в організмі. Одночасно в 10–20 разів збільшується вміст Al у кістках, печінці, сім'яниках, мозку, особливо в паращитовидній залозі; розвивається остеомаляція (розм'якшення кісток).

Виявлені конкурентні відносини між алюмінієм і залізом: збільшення вмісту Al в організмі призводить до зниження абсорбції Fe.

До найважливіших проявів нейротоксичної дії Al відноситься порушення рухової активності, судоми, зниження або втрата пам'яті. Концентрація Al в головному мозку може сприяти розвитку хвороби Дауна, старінню, гіпервітамінозу D, алкогольній енцефалопатії.

При вдиханні пилу Al і Al_2O_3 уражаються легені. Вдихання цих сполук у концентраціях 10–20 мг/м^3 може призвести до важкого захворювання органів дихання – алюмінозу. При попаданні пилу в очі уражується роговиця.

При надходженні Al і Al_2O_3 через шлунково-кишковий тракт всмоктування їх незначне. При тривалому введенні Al невелике його накопичення відбувається тільки у печінці. Вдихання ж аерозолів Al призводить до значного його накопичення у легенях, надходженню в кров, що визначає загальнотоксичний ефект.

Розчинні сполуки Al в концентрації 0,07–0,05 мг/л чинять токсичну дію на риб та інші водні організми, які приймають участь у процесі самоочищення водойм або є кормовими ресурсами для риб. Осідаючи на дно водойм при випадінні з газо аерозольної хмари або при змиві з талими водами або зливовими опадами, Al і Al_2O_3 можуть служити джерелом повторного забруднення водойм.

У грунтах вміст Al в середньому складає 60–70 г/кг, у природних водах 0,001–10 мг/л. В атмосферному повітрі сільської місцевості Al виявляється на рівні кількох тисячних мг/м^3, у наземних рослинах 0,5–400,0 мг/100 г сухої речовини. Гігієнічні нормативи вмісту Al у харчових продуктах: у хлібопродуктах – 20 мг/кг, овочах – 30 мг/кг.

Фосген ($COCl_2$) – газ з задушливим, неприємним запахом, який нагадує запах гнилих плодів або прілого сіна і відноситься до надзвичайно небезпечних речовин задушливої дії.

При взаємодії з вологою повітря утворює хлористий водень. Під впливом світла і при нагріванні вище 200ºС дисоціює на хлор і окис вуглецю.

При високих концентраціях спостерігається блювота, біль у грудях, відчуття задухи, після латентного періоду виникає набряк легенів, пневмонія.

Менші концентрації викликають подразнення верхніх дихальних шляхів, очей, кашель, нудоту (табл.2.31).

Таблиця 2.31

Ефект дії фосгену на здоров’я людини

Концентрація, мг/м^3	Ефект дії на здоров’я людини
4,4–5,0	Стійкий запах
20	Концентрація небезпечна для життя
100–300	Концентрація на протязі 15 хв смертельна для людини

Синильна кислота (ціаністий водень HCN) – безбарвна, легко рухома, дуже летка рідина з характерним запахом гіркого мигдалю. З водою HCN і її сполуки з лужними металами (ціаніди) змішуються у будь-яких співвідношеннях. У присутності аміаку атмосфери, лугів утворює продукти полімеризації.

Викликає порушення тканинного дихання внаслідок блокування дихальних ферментів. В першу чергу страждають дихальний і судинно-руховий центри (поглиблення дихання, підвищення кров’яного тиску, потім параліч дихання і раптове падіння тиску). Початкова стадія гострого отруєння: пекуче-гіркий присмак у роті, слинотеча, оніміння рота і зіву, головокружіння, нудота, блювання, серцебиття.

Синильна кислота – сильна отрута, діюча смертельно навіть у незначних дозах (смертельна доза для людини – 0,05 г). Ефекти дії на здоров’я людини наведені у табл.2.32.

Таблиця 2.32

Дія синильної кислоти на здоров’я людини

Концентрація, мг/м^3	Ефект дії на здоров’я людини
2–3	й запах
5–20	кружіння і головний біль
100	трація небезпечна для життя людини

При хронічному отруєнні синильною кислотою у людини починаються неврастенічний та вегетоастенічний синдроми, порушення функцій серцево-судинної і травної систем, збільшення щитовидної залози, порушення функцій нирок.

Аміак (NH_3) – газ з різким запахом; розчинний у воді, спирті, ефірах. Загальний характер дії на організм – сильна місцева, рефлекторна і резорбтивна дія, збудження центральної нервової системи.

При хронічній дії парів аміаку виникають запальні і запально-атрофічні зміни слизових дихальних шляхів і запальні процеси у легенях. Місцева дія – при концентрації понад 7 мг/л спостерігається подразнення шкіри. Високі концентрації можуть викликати опік і утворення міхурів з порушенням цілісності поверхневих шарів шкіри. Водні розчини аміаку чинять сильну місцево-подразнюючу дію, особливо на очі (подразнення слизових очей, верхніх дихальних шляхів, кашель, біль у грудях).

У випадку середнього ступеню отруєння – набряк гортані, задуха, зупинка дихання. У важких випадках – опік шкіри обличчя другого ступеню, збудження, марення, порушення функцій серцево-судинної системи, печінки, нирок.

При високих концентраціях можлива раптова смерть від зупинки дихання. Наслідки гострого отруєння – помутніння кришталика роговиці, втрата голосу, хронічний бронхіт, емфізема (грец. – “здуття”), атрофічний фаринголарингіт. При важких отруєннях можливі подальші зміни особистості, зниження пам’яті, інтелектуального рівня (табл.2.33).

Формальдегід (CH_2O) – безбарвний, горючий газ, який легко поляризується при нормальній температурі, з різким запахом. Добре розчинюється у воді. Легко розкладається на світлі, утворюючи вуглекислий газ. Стійкий у воді, грунті, рослинах.

У природі зустрічається постійно внаслідок фотохімічного окислення метану, в результаті взаємодії різних високо хімічних активних елементів (озон та ін.) з вуглеводнями і деякими іншими продуктами їхнього окислення, при попаданні з вихлопними газами автотранспорту, при спалюванні відходів відкритим способом, лісових пожежах тощо. При попаданні у воду відбувається загальне пригнічення біоти, у грунт – порушення нормального метаболізму.

У табл.2.34 наводяться гігієнічні нормативи вмісту перерахованих вище речовин у повітрі робочої зони і об’єктах навколишнього середовища.

Таблиця 2.33

Дія аміаку на здоров’я людини

нцентрація, мг/м^3	Ефект дії на здоров’я людини
0,5–0,55	юхального відчуття

3,5	рється запах
40–80	запах, затримка дихання
210–350	мально нестерпна концентрація на протязі
280–480	е подразнення очей, носа, горла
1200	трація на протязі 30 хв небезпечна для життя
3470–6950	

Таблиця 2.34

Гранично допустимі концентрації токсичних продуктів згоряння ракетних палив [14]

Закінчення таб.2.34

Речовина	ГДК речовин						Клас небезпеки
	в повітрі, мг/м^3			у воді, мг/л		у ґрунті мг/кг	
	$К_{рз}$	$К_{мр}$	$К_{сд}$	$ДК_{гп}$	$К_{рг}$		
Хлористий водень (HCl)	0	,2	,2	50,0 ь Cl^-)	-		
Cl2)	0	,1	03	–	-	-	
Фосген (COCl	5	03	-	–	-	-	
Окис алюмінію (Al_2O_3)	0	04	01	0,5 ь Al)	-	-	
Двоокис азоту (NO_2)	0	85	04	5 по NO^-_3)	по NO^-_3)	по NO^-_3)	
Ціаністий водень (HCl)	3	,2	01	035 (CH^-)	-	-	
Формальдегід (H_2CO)	5	35	03	,05	-	-	
Аміак (NH_3)	0	,2	04	2,0 (N_2)	-	-	
Окис азоту (NO)	0	,4	06	3,3 (NO^-_2)	-	-	
Окис вуглецю (CO)	0	,0	,0	–	-	-	

Примітки: ГДК$_{рз}$ – гранично допустима концентрація шкідливої (забруднюючої) речовини у повітрі робочої зони;

ГДК$_{мр}$ – гранично допустима максимальна разова концентрація шкідливої (забруднюючої) речовини у повітрі населених місць;

ГДК$_{сд}$ – гранично допустима середньодобова концентрація шкідливої (забруднюючої) речовини у повітрі населених місць;

ГДК$_{гп}$ – гранично допустима концентрація шкідливої (забруднюючої) речовини у воді водойм господарсько-питного та культурно-побутового водокористування;

ГДК$_{рг}$ – гранично допустима концентрація шкідливої (забруднюючої) речовини у воді водойм рибогосподарського призначення;

ГДК$_{г}$ – гранично допустима концентрація шкідливої (забруднюючої) речовини у грунті.

2.7. Основні конструкційні матеріали ракетно-космічної техніки

Для проведення аналізу впливу РКТ на НПС необхідно знати характеристики конструкційних матеріалів, які використовуються в РКТ.

При виготовленні КА і РН в основному використовуються кольорові сплави – алюмінієві, титанові, мідні; для виготовлення двигунів – леговані, високолеговані, жаростійкі і жароміцні: чорні сталі і сплави (Д16, В95, АМг6, 1201 та ін.).

Як теплоізоляційні, теплозахисні покриття застосовуються різні марки пенопластів, спеціальні теплозахисні матеріали та екранно-вакуумна теплова ізоляція. Пенопласти – це продукти полімеризації стиролу, теплозахисні матеріали – це шари переплетених штапельних, скляних і базальтових волокон або композиції на основі поліетилену в толуолі з різними добавками. Екранно-вакуумна теплова ізоляція – це набір шарів екранів (металічна фольга або металізована плівка) та тепло ізолюючих прошарків (скло вуаль або полотна із штапельного кварцового волокна).

Як абляційні (ті, що згоряють в атмосфері) покриття, використовують комбіновані і сублімуючі абляцій ні матеріали (типу фторопласти), які не утворюють коксового залишку при згорянні, а зразу переходять з твердої фази у газоподібну.

Деталі РН і КА, виготовлені з металічних напівфабрикатів, покриваються необхідними викидами покриття (неорганічних і лакофарбу вальних) і підлягають термохімічній обробці.

Масу різних матеріалів, що використовуються в РН і КА, можна визначити таким чином. Маса конструкції РН складає приблизно 10–15 % від її стартової маси; маса двигунних установок і арматури пневмогідросистем – 30–40 % від маси конструкції РН; маса теплозахисного покриття – біля 2–5 % від маси конструкції РН. Стартова маса КА дорівнює масі корисного навантаження РН, яка виводиться на базову орбіту. Маса палива двигунних установок систем орієнтації, стабілізації, корекції і гальмування складає в середньому 30–40 % від маси самого КА. Маса апарату (капсули), що спускається, не перевищує 40 % від стартової маси КА. Маса теплозахисного покриття – 25–30 % від маси апарата, що спускається.

Для людини небезпечні продукти горіння полімерних матеріалів, які використовуються у конструкціях РКТ (органопластики, пенополіуретани, поліолефіни, полівінілхлориди, фторопласти, гуми, захисні покриття, емалі).

Органопластики різні за ступенем небезпеки під час їхнього горіння. Органопластики на основі зв’язуючого ПАИС–105 і поліамідної тканини СВМ відноситься до класу надзвичайно небезпечних матеріалів, а близький до нього за хімічною природою на основі зв’язуючого ПАИС–105П і поліамідної тканини “Армід” – до класу помірно небезпечних матеріалів. Органопластик на основі зв’язуючих ЕТ–2 і “Роливсан” МВ–1 відноситься до класу високонебезпечних матеріалів. Токсичність продуктів згоряння органопластиків складають оксид вуглецю та ціаністий водень.

Пенополіуретани (ППУ) відносяться до групи горючих матеріалів (температура запалювання 350–440ºС, самозапалювання 440–540ºС). При їх горінні утворюється багато диму.

За інтегральним показником токсичності продуктів згоряння, наприклад, ППУ-35-08 можна віднести до високонебезпечних матеріалів. Найбільшу небезпеку в складі продуктів згоряння ППУ виявляють також оксид вуглецю та ціаністий водень. Для оцінки реальної небезпеки останнього слід враховувати, що він добре поглинається пористими матеріалами і може зберігатися в порах кілька діб. Слід також відмітити, що леткі отруйні речовини можуть утворюватися не тільки із полімерів, а й із добавок, які в них містяться.

Із класу поліолефінів широкого поширення набув поліетилен. Основний його недолік – низька термостійкість і підвищена пожежна

небезпека. Вони відносяться до легкозаймистих матеріалів. Температури запалювання і самозапалювання поліолефінів складають відповідно 325–345ºС і 345–390ºС. За результатами випробувань різних модифікацій поліетилену їх можна віднести до класу високонебезпечних матеріалів, причому леткі продукти безполум'яного горіння виявляються більш токсичними, ніж продукти полум'яного горіння. Вирішальний вклад в токсичний ефект вносить СО. Можливе виділення у летких продуктах згоряння також надзвичайно токсичної сполуки акролеїна (ГДК = 0,2 мг/м^3).

Полівінілхлориди (ПВХ) – продукти полімеризації хлористого вінілу відносяться до важко займистих полімерів (температура запалювання 270–290ºС, самозапалювання – 550–580ºС).

На першій стадії розкладу ПВХ (170–300ºС) леткі продукти складаються із хлористого водню (96 %), ароматичних (в основному бензол) та аліфатичних вуглеводнів. При температурі понад 400ºС відбувається повне видалення HCl з матеріалу і подальша деструкція. Крім HCl і вуглеводнів, у складі летких речовин можуть бути хлорорганічні та алкілароматичні сполуки. При температурі понад 450ºС у результаті швидкого окислення летких продуктів киснем повітря утворюються СО і CO_2; при цьому зменшується концентрація ароматичних сполук. У продуктах згоряння може бути присутня небезпечна токсична сполука – фосген (ГДК = 0,5 мг/м^3), однак кількість його не загрожує життю і здоров'ю людей. Основними за токсичною дією сполуками у продуктах згоряння ПВХ є оксид вуглецю та хлористий водень. Враховуючи ефект сумації цих шкідливих речовин, ПВХ можна віднести до високонебезпечних і помірно небезпечних матеріалів. Відомі випадки пожеж, коли продукти згоряння ПВХ-матеріалів (зокрема HCl) призводили до загибелі людей і викликали важкі отруєння зі стійкими ураженнями дихальних шляхів, з повною або частковою втратою працездатності.

Фторопласти (політетрафторетилен – ПТФЕ, фторопласт-4, тефлон) при згорянні (температура понад 450ºС) виділяють поряд з оксидом вуглецю речовини, що містять фтор. Вони можуть знаходитися у газоподібному стані, а також у вигляді твердих часток, що відрізняються своєрідною токсичною дією.

Широке застосування в РКТ мають *гуми*, які відрізняються рецептурою застосовуваних сумішей і термостійкістю, що визначає суттєві відмінності у складі і токсичності продуктів їх горіння.

Так, при горінні гуми на основі хлоропренового каучуку (гума ШН-40Н) токсичність продуктів згоряння у шість разів вища, ніж при згорянні гуми на основі кремнійорганічного каучуку (гума КН-1). Це пояснюється значно більшим виходом СО при горінні гуми ШН-40Н і можливим вкладом різних галогеноводнів, зокрема HCl. Результати випробувань свідчать, що гуми відповідають різним класам небезпеки – від помірно небезпечних до надзвичайно небезпечних.

Захисні покриття та емалі, які застосовуються в РКТ, при згорянні виділяють у великих кількостях подразнюючі гази (HCl, альдегіди, сірчаний ангідрид), оксид вуглецю. Високий рівень виходу СО можливий при безполум'яному горінні покриттів у результаті термоокислення як основного полімеру, так і наповнювача.

Склад і токсичність продуктів деструкції горіння ряду емалей (ЕП-51, ЕП-525) залежать від термічних властивостей епоксидних речовин, які містяться в них. При їх деструкції виділяються метан, етан, етилен, пропілен, бутан, водень, вода і діоксид вуглецю; виявлені також альдегіди, ароматичні вуглеводні та інші шкідливі речовини. Продукти горіння матеріалів на основі епоксидних матеріалів відносяться до класу помірно небезпечних матеріалів, однак в композиціях, що містять крім епоксидних смол поліаміди (емалі ЕП-75, ВТ-4С) або колоксилін (емаль ЕП-51) потенція токсичності може в значній мірі підвищуватися за рахунок утворення в умовах пожежі високотоксичних сполук – ціаністого водню та оксидів азоту.

2.8. Засоби командно-вимірювального комплексу

Екологічна небезпека засобів командно-вимірювального комплексу (КВК) зумовлена електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти (НВЧ) передаючих антен.

На технічній території типового командно-вимірювального пункту розташовані: станції командних радіоліній, станції траєкторних вимірювань, телеметричні станції зв'язку. Джерела електромагнітного забруднення пункту – радіотехнічні системи, що характеризуються потужністю, частотним діапазоном роботи і просторовим розподіленням створюваного електромагнітного поля.

Відстані, які розділяють абонентів каналу "Земля-борт", досягають десятків тисяч кілометрів, що потребує значних потужностей для підтримки стійкого зв'язку (від одиниці до сотень кіловат). Затікання високочастотних струмів на тіньові поверхні дзеркал антен призводить до

несанкціонованого випромінювання електромагнітної енергії і таким чином, до створення зон електромагнітного забруднення [12, 13].

Найбільш високу густину потоку енергії НВЧ-випромінювань мають станції стеження за КА дальнього космосу і високоапогейними ШСЗ. Російські станції стеження розташовані у Криму поблизу м.Євпаторії (Західний центр дальнього космічного зв’язку), на Далекому Сході в м.Усурійську (Східний центр дальнього космічного зв’язку) і в м.Щолково під Москвою [1]. В селищі Медвежі озера під Москвою знаходиться станція прийому наукової інформації.

Розташування центрів дальнього космічного зв’язку на порівняно низьких широтах і значне їх рознесення за довготою забезпечує максимальну зону видимості КА і підвищену точність визначення траєкторії польоту за результатами навігаційних вимірювань.

Основними джерелами електромагнітних випромінювань станції стеження Західного центру є: прийомо-передавальна антена з діаметром дзеркала 70 м (А70); передавальна антена з діаметром дзеркала 32 м (А32); передавальні пристрої сантиметрового і дециметрового діапазонів; апаратура траєкторних випромінювань; апаратура формування і видачі командно-програмної інформації, а також апаратура планетного радіолокатора та інтерферометра із надвеликою базою. Антена А70 приймає і передає сигнали у декількох діапазонах хвиль (табл.2.35).

Таблиця 2.35

Основні характеристики антени А70 в режимі передачі

Положення ротно-дзеркальної системи	1		2				5			
Довжина хвилі,см									)	
Ефективна площа антени (кут місця 90°), м^2		0				0			00	
Потужність передавача, кВт						0			0	
Ширина діаграми направленості антени						7			)	
Коефіцієнт підсилення						)				

антени, дБ										

Антена А32 працює в передавальному режимі на довжинах хвиль 6 см і 39 см з потужністю випромінювання 8 і 80 кВт відповідно. Ефективна площа антени 400 м^2.

За своїм складом і можливостями станція стеження Східного центру дальнього космічного зв'язку аналогічна станції Західного центру. Відмінність лише в тому, що антена А32 працює в прийомному режимі і є ще антена з діаметром дзеркала 25 (А25), яка працює в передавальному режимі. У складі станції Східного центру відсутня апаратура планетного радіолокатора.

У складі станції стеження м. Щолково – дві антени з діаметром дзеркала 25 м (А25) – прийомна і передавальна. Працює станція тільки у дециметровому діапазоні. Потужність передавача 40 кВт. Станція стеження забезпечує прийом телеметричної інформації, видачу команд і проведення траєкторних вимірювань.

2.9. Космічні системи з ядерними енергетичними установками

Такі складні задачі космічних досліджень, як експедиції до планет Сонячної системи, човникові транспортні операції із значними змінами параметрів орбіт від низьких навколоземних до ГСО, функціонування великих тривалих населених і ненаселених орбітальних станцій, неможливо вирішити за допомогою традиційних сонячних або хімічних енергоустановок.

У більшості випадків нині як джерела енергії в космосі використовуються сонячні батареї. Однак при великих потужностях панелі сонячних батарей стають дуже великими, що викликає труднощі при їх розгортанні та орієнтації на Сонце. Велика парусність панелей спричинює гальмування КА в залишковій атмосфері. На характеристики сонячних батарей впливають радіаційні їх пошкодження в умовах природної космічної радіації. Крім того, при польотах до далеких планет КА вони будуть знаходитися в областях зниженої сонячної енергії. Наприклад, для виробництва однакової кількості електроенергії в районі Юпітера необхідна поверхня сонячних батарей приблизно у 25 разів більша, ніж на навколоземній орбіті. Очевидно також, що сонячні батареї не можуть бути використані у відсутність Сонця, наприклад, у тривалу місячну ніч.

У зв’язку з цим виникає необхідність розробки ядерних джерел енергії для використання на космічних об’єктах у складі двигунів і для живлення бортових споживачів. Їх застосування, як вважається, дозволить зняти всі обмеження в енергоспоживання при виконанні будь-яких космічних задач в майбутньому. З початку 60-тих років при виконанні космічних задач стали використовувати два типи ядерних джерел: радіоізотопні генератори (РІГ) та ядерні реактори (ЯР).

Космічні ядерні енергетичні установки (ЯЕУ) почали розробляти на початку 50-тих років. За американською програмою SNAP розроблялися ЯЕУ для живлення бортових споживачів і для електроракетних двигунів. Було створено сімейство космічних радіо- і ізотопних генераторів (SNAP-1, -3, -9 і т.д. – непарні номери) і сімейство космічних ядерних реакторів (SNAP-2, -8, -10A та ін.). Установка SNAP-10A в 1965 р. пройшла випробування в космосі на протязі 43 діб [14].

З 1979 р. діють програми створення ЯР електричної потужності 10–100 кВт (SP-100) і реакторів мультимегаватної потужності для місячної та марсіанської баз: імпульсної дії з електричною потужністю 10–100 МВт і безперервної дії потужністю до десятків мегават. Установка SP-100 є базовою для створення ЯЕУ з електричною потужністю від 10 до 1000 кВт.

У СРСР була створена компактна реакторна установка з прямим перетворенням теплової енергії “Ромашка” для використання в космосі. В 1964 р. установка була виведена на потужність і попрацювала 15000 годин. В подальшому за програмою “Топаз” було створено сімейство ЯР невеликої потужності з термоелектричним і термоемісійним перетворенням енергії, які широко використовувались на КА серії “Космос”.

Проводяться дослідження і створюються зразки ЯР, здатних працювати в енергетичному, двигунному або комбінованому електродвигун них режимах. Проводяться пошукові роботи над концепцією надпотужних ЯР для енергоустановок космічного призначення, наприклад, при здійсненні пілотованого польоту на Марс. Енергодвигунна установка при цьому повинна забезпечувати [15]:

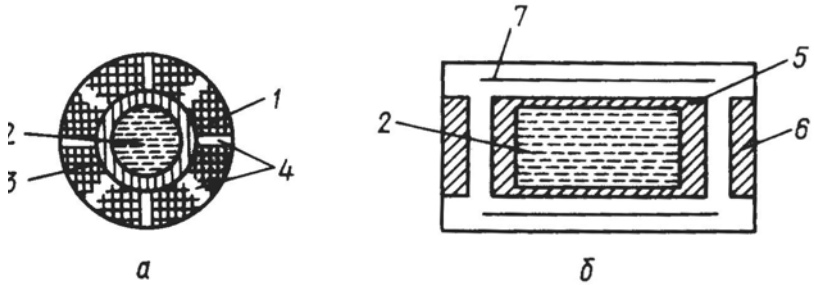
– реактивну тягу для відведення космічного корабля з орбіти Землі; гальмування при підході до Марсу; відведення з орбіти Марса і необхідні корекції траєкторії;

– отримання електричної і теплової енергії для бортових систем.

З 1983 р. у Французькому національному центрі космічних досліджень розробляється проект ЯЕУ для орбітального використання за допомогою РН “Аріан-5” після 2005 р. Передбачається використовувати ЯР з електричною потужністю 20-200 кВт для живлення ЕРД багаторазових між орбітальних буксирів для доставки вантажів з навколоземних орбіт на геостаціонарну.

Дія радіоізотопних генераторів базується на перетворенні теплової енергії радіоактивного розпаду в електричну. Основна доля енергії, яка вивільняється в результаті радіоактивного розпаду проявляється головним чином у вигляді кінетичної енергії при розпаді елементарних часток і/або квантів електромагнітної енергії. Поглинання ядерних часток або квантів у речовині генератора супроводжується яскраво визначеними тепловими ефектами вздовж їх траєкторії. Ці ефекти майже раптово усереднюються, і виділення тепла набуває макроскопічного характеру.

Перетворення енергії може здійснюватися різними методами. Найбільше поширення отримали статичні термоелектричні і термоемісійні перетворення (рис.2.4).



ис.2.4. Статичні термоелектричні (*а*) і термоемісійні (*б*) перетворювачі:

1 – корпус; 2 – паливо; 3 – теплоізоляція; 4 – термоелектричні елементи; 5 – емітер; 6 – колектори; 7 – теплові екрани.

Важливим параметром для будь-якого РІГ є питома потужність $P_{пит}$ палива (Вт/год, Вт/кг), що накладає обмеження на вибір тих чи інших ізотопів для палива (максимум поглинутої енергії, відсутність побічних випромінювань, тривалий період напіврозпаду $T_{1/2}$, високе значення $P_{пит}$. З врахуванням фізико-хімічних характеристик ізотопів і можливості їх отримання в потрібних кількостях, а також вартості в космічних РІГ використовувалися відносно нешкідливі альфа-активні випромінювачі:

плутоній-238 ($T_{1/2}$ = 89 років, $P_{пит}$ = 0,55 Вт/год), церій-144 ($T_{1/2}$ = 0,78 року, $P_{пит}$ = 25 Вт/год), кюрій-242 ($T_{1/2}$ = 0,447 року, $P_{пит}$ = 120 Вт/год).

Зниження маси космічних РІГ досягається використанням більш дорогих (але з високою питомою потужністю) альфа-активних палив і, як наслідок, відсутністю масивних протирадіаційних засобів захисту, необхідних для наземних генераторів. Із збільшенням потужності зростає вартість палива, оскільки для нього використовуються радіоактивні ізотопи високого струменю чистоти, що робить їх надзвичайно дорогим і рідкісним видом палива.

Космічні РІГ використовуються майже 40 років. За ці роки у США запущено біля 50 РІГ на 26 КА (8 військових і 18 цивільних). Чотири запуски РІГ було здійснено в СРСР.

Генератори використовувались для широкого спектру задач, включаючи польоти на низьких і високих орбітах навколо Землі, на поверхні Місяця і Марса, а також польоти до інших планет. Всі РІГ завантажувались плутонієм-238, їх потужність складала від 2,7 до 160 Вт на один РІГ, а питома потужність – 1,5–4,2 Вт/кг.

Після 1977 р. розроблено модуль теплового джерела загального призначення GPHS на плутонії-238 масою 1,44 кг. Виготовлено понад 90 таких модулів, загальною масою плутонію-238 понад 40 кг. На основі модулю створено РІГ “GPHS-RTG” – найбільший космічний РІГ на плутонії потужністю 288 Вт з розмірами – діаметр 42,2 см; висота 114 см; масою 55,8 кг, який визначає сучасний рівень технології космічного РІГ США. Для міжпланетних польотів на початку 21 століття розробляється новий модульний РІГ з питомою потужністю 7 Вт/кг при рівні потужності 300 Вт.

Інформація про запуски космічних РІГ в США наведена в табл.2.36 [14].

У жовтні 1989 р. запущено до Юпітера КА “Галілей” з двома GPHS-RTG на борту; у жовтні 1990 р. для вивчення полярних областей Сонця – КА “Одісей”. В 1995-1996 рр. здійснено запуски КА з РІГ для вивчення Сатурна з часом польоту 8-10 років. В 1998 р. здійснено запуск до Марса.

Таким чином, основні переваги РІГ проявляються при рівнях споживаної потужності до декількох сотень ват. Однак, починаючи з потужностей в декілька кіловат кращими стають реакторні енергоустановки щодо вартості і технічних характеристик, а при потужності понад 10 кВт вони суттєво економічніші, ніж РІГ.

Залежно від специфіки і призначення космічного об’єкта ядерний реактор повинен виробляти електроенергію і (або) тягу.

Таблиця 2.36

Статистика запусків КА з РІГ з 1961 по 1977 роки

Дата запуска	Тип КА	Тип РІГ	Кіль кість	Ел. потуж., Вт	Тепл. потуж., Вт	Орбіта, км	Статус, час життя
29.06.1961	“Транзит 4А”	SNAP-3A	1	2,7	52,5	930	Спустився
15.11.1961	“Транзит 4В”	SNAP-3A	1	2,7	52,5	1030	Не діючий
28.9.1963	“Транзит 5БН-1	SNAP-9A	1	25	525	1095	9 місяців
5.12.1963	“Транзит 5БН-2	SNAP-9A	1	25	525	1085	Не діючий
21.4.1964	“Транзит 5БН-3	SNAP-9A	1	25	525	–	Аварійний запуск
18.5.1968	“Німбас Б-1”	SNAP-19-B2	2	28	630	–	Аварійний запуск
04.4.1969	“Німбас III”	SNAP-19-B3	2	28	630	1100	Не діючий
14.11.1969	“Аполлон-12”	SNAP-27	1	73	1480	–	На Місяці
11.4.1970	“Аполлон-13”	SNAP-27	1	73	1480	–	Аварійний запуск
31.1.1971	“Аполлон-14”	SNAP-27	1	73	1480	–	На Місяці
26.7.1971	“Аполлон-15”	SNAP-27	1	73	1480	–	На Місяці

Дата запуска	Тип КА	Тип РІГ	Кіль кість	Ел. потуж., Вт	Тепл. потуж., Вт	Орбіта, км	Статус, час життя
02.3.1972	“Піонер-10”	SNAP-19	4	40	645	–	За Плутоном
16.4.1972	“Аполлон-16”	SNAP-27	1	73	1480	–	На Місяці
02.9.1972	“Транзит 01-IX	Transit-RTG	1	35	850	770	Діє
7.12.1972	“Аполлон-17	SNAP-27	1	73	1480	–	На Місяці
15.4.1973	“Піонер-11”	SNAP-19	4	40	645	–	За Сатурном
20.8.1975	“Вікінг-1”	SNAP-19	2	42	685	–	На Марсі
09.9.1975	“Вікінг-2”	SNAP-19	2	42	685	–	На Марсі
14.3.1976	“ЛЕС-8”	MHW	2	154	2400	35875	Діє
14.3.1976	“ЛЕС-9”	MHW	2	154	2400	35875	Діє
20.8.1977	“Вояжер-1”	MHW	3	160	2400	–	За Ураном
05.9.1977	“Вояжер-2”	MHW	3	160	2400	–	За Сатурном

У ядерному ракетному двигуні ядерний реактор використовується для прямого створення тяги за рахунок робочого тіла, що викидається із сопла, нагрітого в активній зоні реактора (рис .2.5).

Рис.2.5. ЯРД з безпосереднім створенням тяги

В ядерному електроракетному двигуні здійснюється проміжне перетворення теплової енергії в електричну, що використовується потім в електричному ракетному двигуні для іонізації, нагріву і прискорення робочого тіла (рис.2.6).

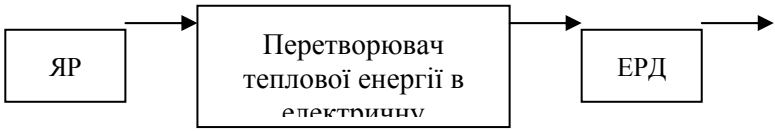


Рис.2.6. Ядерний електроракетний двигун з проміжним перетворювачем енергії

Додаткове розширення можливостей космічних польотів зможуть забезпечити універсальні енергетичні системи, в яких ЯР застосовуються для живлення бортових споживачів і роботи двигунів.

Будь-який тип космічної ядерної енергетичної установки включає три основних елементи: джерело теплової енергії – ЯР; перетворювач теплової енергії в електричну; пристрій для відведення частини первинної енергії, що не використовується в процесі перетворення, в навколишнє середовище (холодильник-випромінювач).

Перетворювачі теплоти поділяються на машинні і без машинні, або прямі. Основні типи прямих перетворювачів – термоелектричні і термоемісійні. Їх застосування залежить від потрібної електричної потужності ЯР. При потужності від кількох сотень кіловат до одиниць мегават перевага віддається машинним перетворювачам – газотурбінним або паротурбінним. Загальний коефіцієнт корисної дії перетворення теплової енергії ЯР в електричну не перевищує 25–30 %. Тому 70–75 % первинної енергії повинно розсіюватися в навколишньому середовищі.

Тривале відведення тепла без викиду маси можливі тільки шляхом випромінювання. Найбільше поширення в конструкціях космічних ЯЕУ отримали холодильники-випромінювачі у вигляді ребристих трубок (ними протікає теплоносій), з'єднаних у циліндричні або конічні панелі.

Ядерний реактор – це пристрій, в якому відбувається регульована ланцюгова реакція поділу з виділенням первинної теплової енергії. Основні елементи ЯР: активна зона (АЗ); відбивач нейтронів; система відведення тепла; система управління і захисту (СУЗ); протирадіаційний захист. В АЗ розміщується ядерне паливо і сповільнювач нейтронів (іноді відсутній). Відбивач нейтронів попереджує вихід нейтронів за межі АЗ. За допомогою СУЗ здійснюється управління ЯР а протирадіаційний захист забезпечує дотримання вимог радіаційної безпеки в процесі експлуатації ЯЕУ.

Слід відмітити, що космічні ЯЕУ відрізняються від наземних. Основні вимоги до космічних ЯР – мінімально можливі маси і габарити. В більшості випадків мінімальні розміри ЯР визначаються не критичними умовами перебігу ланцюгової реакції, а можливостями зйому заданої теплової потужності. Це зумовлює використання найбільш ефективних конструкцій АЗ і рідинно металічних теплоносіїв.

Реактори космічних ЯЕУ, як правило, високотемпературні, і в складі АЗ використовуються тугоплавкі матеріали: жаротривкі сталі, карбіди, металокераміка. Для зниження непродуктивного захвату нейтронів, як паливо використовують збагачений уран (~90 % U-235), а як сповільнювачі – речовини, які слабо поглинають нейтрони – це високотемпературні сповільнювачі – графіт, берилій, гідриди металів.

Малі габарити АЗ спричинюють великі витоки нейтронів за її межі і тому в космічному ЯР велику роль відіграє відбивач. Його можна розглядати і як складову частину протирадіаційного захисту. Як відбивачі застосовують матеріали, які добре розсіюють і слабо поглинають нейтрони, наприклад, берилій і його окисли.

Характеристики космічних ЯР наведені в табл.2.37.

Як свідчить статистика запусків космічних ЯЕУ переважна більшість ЯЕУ в даний час знаходиться у космосі на висотах 700-1300 км орбітах захоронення.

Таблиця 2.37

Характеристики розроблених космічних ядерних реакторів

Характеристика	ромаш-ка” СРСР	SNAP-10A США	паз” (тепл.) СРСР	паз” (швид.) СРСР	SP-100 США
Теплова потужність, кВт	40	34	150-180	150-180	1,4 МВт
Ел. потужність, кВт	0,5-0,8	0,5	3	6	100
Паливо, кг (збагач. за U-235)	рбід урану 0 %), 49	U-235+Zr 93 %), 4,8	Діоксид урану 90 %), 12	Діоксид урану 90 %), 30	Діоксид урану >90 %), 80-180
Сповільнювач	–	Гідрид цирконію	Гідрид ирконію	–	–
Відбивач	Берилій	Берилій	Берилій	Берилій	Берилій
Розмір АЗ (DxH), см	5,2x15,5	22x31	8,8x35,2	30x35	–
Час роботи	5000 год	43 доби	1 рік	3-5 років	7 років

3. ОСНОВНІ ФАКТОРИ ДІЇ НА НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

До основних факторів впливу РКТ на НПС відносяться (рис. 3.1):

– робота ракетних двигунів;
– політ РН в атмосфері;
– відчуження зелених площ під райони падіння (посадки) частин РН, що відділяються;
– розливи токсичних КРП;
– випаровування токсичних КРП;
– горіння КРП;
– вибухи КРП;
– гасіння пожеж (флегматизація вибухонебезпечної суміші);
– руйнування конструкції виробів;
– падіння аварійного виробу;
– робота радіоелектронного обладнання;

Екологічні наслідки названих факторів дії РКТ на НПС суттєво залежать від конкретних умов. Природні фізичні фактори і природньо-географічні умови можуть підсилювати або послаблювати вплив РКТ. До таких факторів відносяться геліографічні, погодно-кліматичні, фізико-географічні, просторово-часові фактори, а також фонова екологічна обстановка. Геліографічні фактори – це сонячна активність, сейсмічність, магнітна активність, сезон, час доби, погодно-кліматичні – опади, вітер, температура повітря. До фізико-географічних факторів відносяться:

- природна зона, в якій розташований район експлуатації виробу РКТ (тундра, тайга, широколистий чи змішаний ліс, лісостеп, степ, напівпустеля, пустеля, океан і т. д.);
- тип грунту в зоні розташування району експлуатації виробу РКТ (глинистий, піщаний, суглинок, супісок, чорнозем і т. д.);
- кислотність грунту;
- бонітет грунту;

Фактори дії РКП на навколишнє середовище

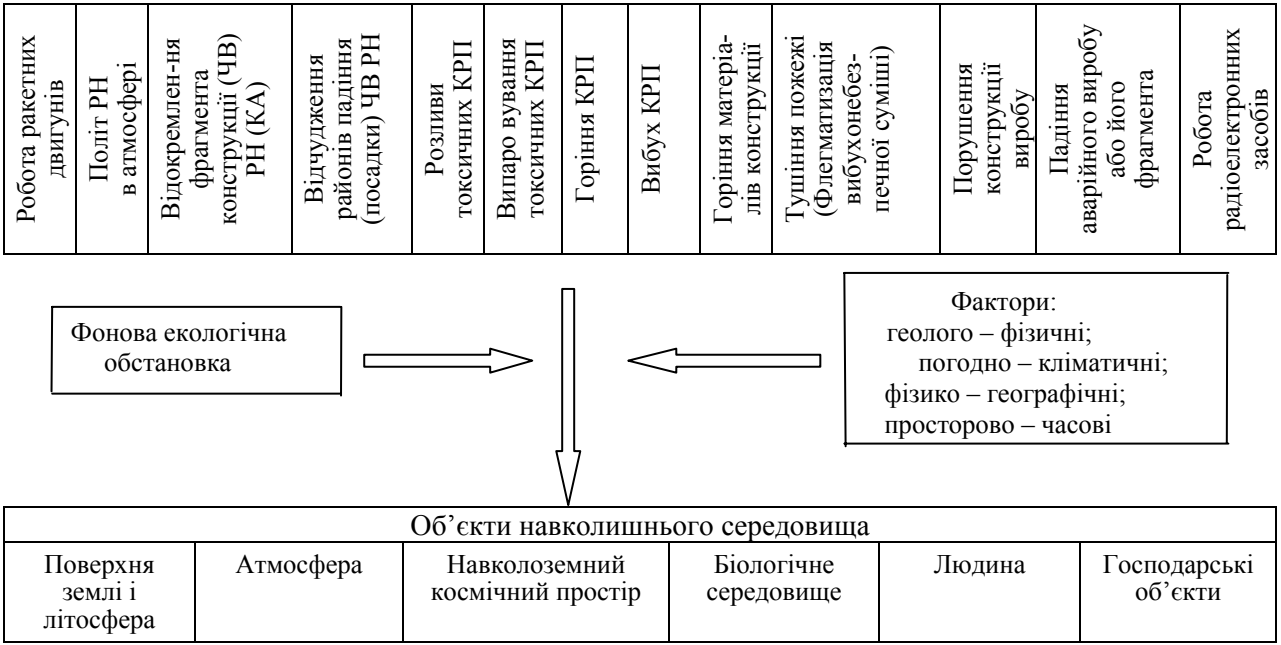


Рис. 3.1. Фактори дії на навколишнє природне середовище ракетно-космічної техніки

– геоморфологічні характеристики місцевості (випукла, плоска, увігнута вершина, пологий, похилий або крутий схил, видолинок, улоговина тощо);

– гідрологічні характеристики місцевості (наявність річок, оліготрофних водойм, глибина залягання водоносних горизонтів і т. д.).

Фонова екологічна обстановка в районах експлуатації виробів РКТ визначається факторами шкідливої дії на НПС, не зумовленими космічною діяльністю. Фактори дії РКТ на НПС необхідно розглядати в діапазоні часу від момента вивозу РН на старт до припинення існування КА (посадки КА).

3.1. Вплив на довкілля під час підготовки ракет-носіїв

Передстартова підготовка РН здійснюється на технічному (тк) і стартовому (ск) комплексах.Операції заправки КА і РБ висококип'ячими, в тому числі, токсичними, КРП відбуваються на заправочній (заправочно-нейтралізаційній) станції.

Підготовка РН на ТК в Росії проходить за традиційною "горизонтальною" схемою. В інших країнах поширена "вертикальна" технологія підготовки РН. При цьому іноді підготовку на ТК і СК суміщують. Схеми технологічного процесу передстартової підготовки РН і РБ наведені на рис. 3.2 і 3.3.

В предстартових операціях можуть мати місце дренажні викиди і розливи КРП при відстиковці заправочних магістралей, передбачені штатною циклограмою підготовки РН до пуску. При аварійному перериванні або перенесенні пуску проводиться злив палива. В цьому випадку можуть відбуватися викиди парів в атмосферу і вилив палива в грунт. Як правило, штатні виливи і викиди для одного пуску не перевищують ~ 100 кг. Крім того,передбачається утилізація дренажних викидів і промислових стоків [15].

Під час підготовки РН до пуску працюють радіотелеметричні системи (бортові та системи пристартового вимірювального комплексу), що призводить до незначного електромагнітного забруднення НПС в районі СК в радіусі декількох кілометрів.

Таким чином, на етапі передстартової підготовки РН на НПС діють такі несприятлливі фактори: виливи токсичних КРП, випаровування токсичних КРП, електромагнітне забруднення НПС.

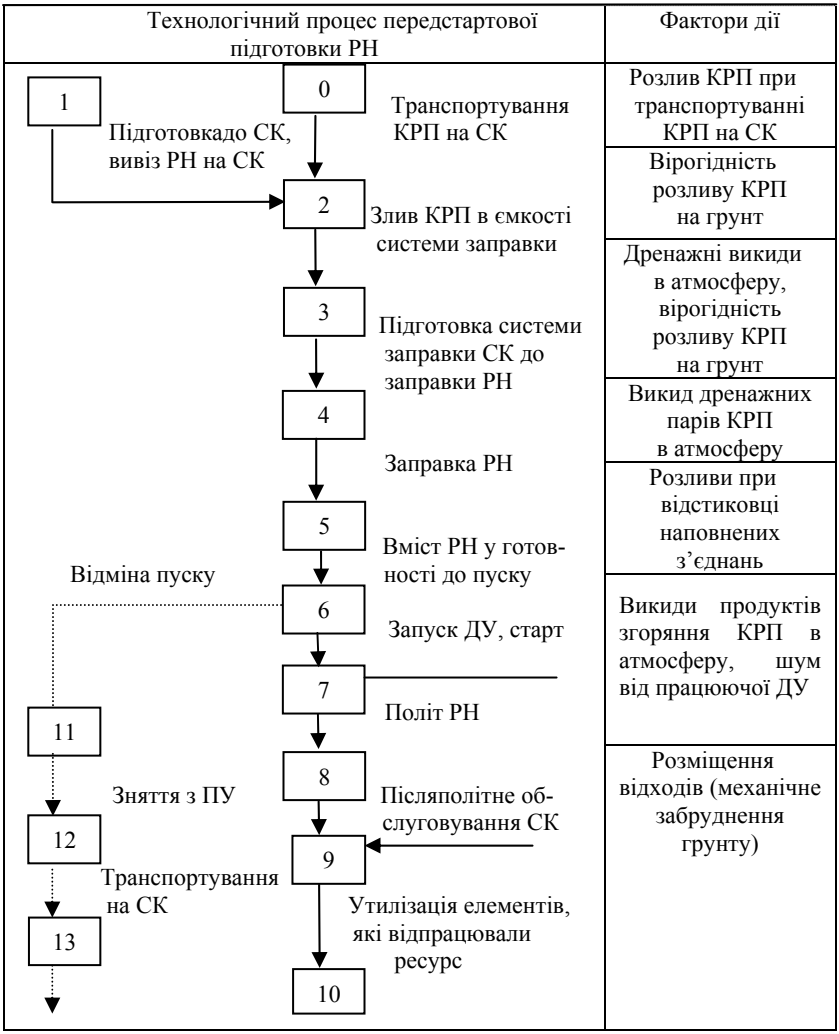


Рис.3.2. Схема технологічного процесу підготовки РН до запуску

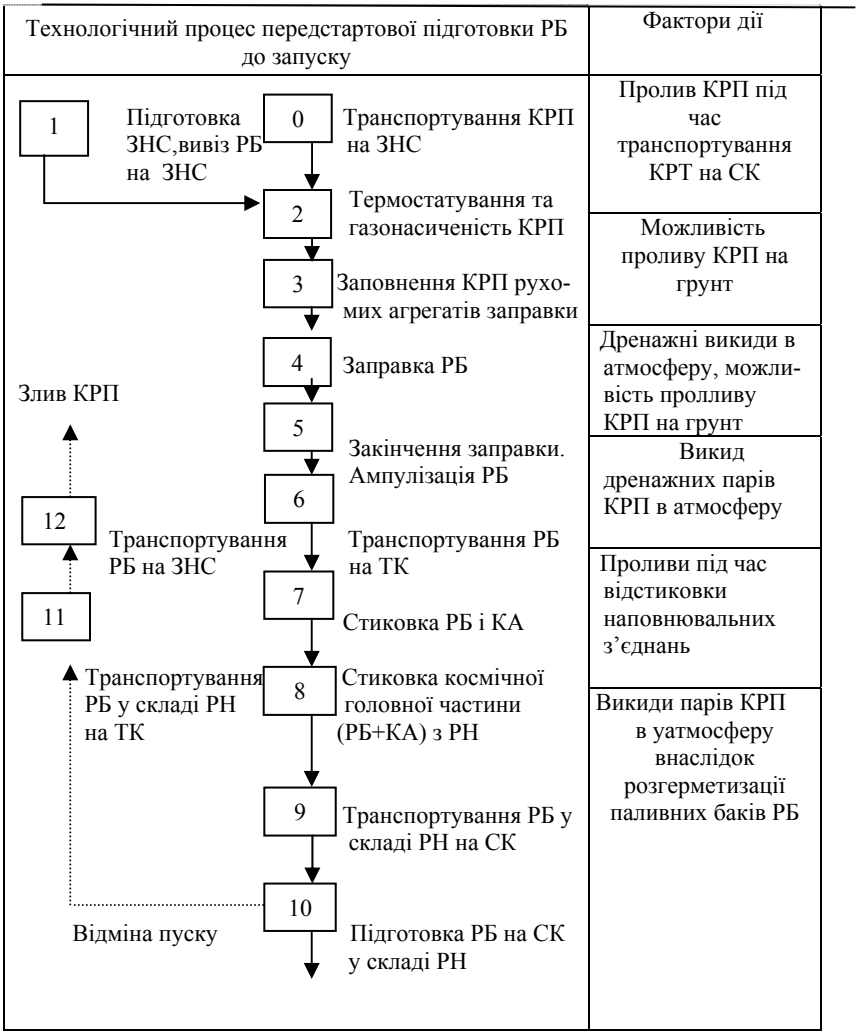


Рис.3.3. Схема технологічного процесу підготовки РБ до запуску

3.2. Забруднення довкілля під час пуску РН і польоту на дільниці виведення

Даний етап включає: запуск маршових двигунів першого ступеню; підйом РН над стартовою пусковою установкою; вертикальний рух ракети; відпрацювання програмного розвороту; послідовне відділення, відведення і приземлення в призначених для цього районах головного обтічника; виключення маршових двигунів РН; відділення КА [1].

Шкідливі для життєдіяльності людини забруднення, які вносяться продуктами згоряння в приземний повітряний шар, визначаються висотами польоту до ~ –2 км. Газоподібні продукти згоряння на великих висотах під дією атмосферної дифузії будуть розсіюватись і досягнуть поверхні землі в незначних кількостях внаслідок великого віддалення від землі і дуже низького значення коефіцієнта дифузії.

Запуск двигунів і початкова дільниця виведення супроводжуються потужними акустичними діями і надходженням в приземний шар атмосфери значної кількості продуктів згоряння КРП. Працюючі засоби вимірювального комплексу і бортові радіоелектронні системи РН і КА – потужні джерела електромагнітного забруднення НПС.

При роботі двигунної установки РН виділяється велика кількість тепла. В продуктах згоряння КРП міститься вуглекислий газ, який відноситься до парникових газів і разом з метаном та іншими газами сприяє утворенню навколо Землі екрана, що перешкоджає розсіюванню в космосі власного випромінювання Землі в інфрачервоному діапазоні (парниковий ефект). Це спричинює теплове забруднення атмосфери.

На етапі виведення в стратосферу і верхню атмосферу в процесі польоту відбуваються викиди токсичних продуктів згоряння палив (див. розділ 2.1), а також речовин, які руйнують озоновий шар (окисли азоту, які утворюються в процесі догоряння викинутої струмини продуктів згоряння рідких КРП в атмосфері; хлор і його сполуки, присутні в продуктах згоряння твердих ракетних палив). В верхніх шарах атмосфери, де температура найбільш низька, пари води, що містяться в продуктах згоряння рідких КРП, швидко конденсуються і

утворюють кристали льоду. В результаті можуть виникнути штучні хмари, подібні до сріблястих.На ще більших висотах, в іоносфері, спостерігаються взаємодія H_2O та інших продуктів згоряння КРП з іоносферною плазмою. В результаті утворюються області з пониженою концентрацією електронів, що може призвести до зміни умов поширення радіохвиль, свічення атмосфери та ін.

Таким чином, на етапі польоту при штатному функціонуванні виробу на НПС діють насамперед продукти згоряння ракетних палив, головна ударна хвиля, що утворюється при польоті (особливо на висотах ~100–130 км), факел ракетного двигуна, акустичні шуми, електромагнітні випромінювання, а також інші повторні ефекти, викликані вищезгаданими явищами.

3. 3. Джерела забруднення довкілля під час роботи розгінних блоків і активного функціонування космічних апаратів

Розгінні блоки призначені для виведення КА на низькі кругові орбіти висотою до 300 км, середньокругові – висотою до 20000 км, високоеліптичні з апогеєм до 40000 км, а також на геостаціонарну орбіту ($H_{кр}$=3600 км, i = 0 град.) РБ починають працювати з висот 180 – 200 км.В процесі виведення двигунні установки РБ включаються декілька разів. Після відділення КА, як правило, відбувається відведення РБ з робочої орбіти КА.

З часом параметри орбіти КА змінюються під дією різних факторів (гравітаційні аномалії, опір атмосфери і т. д.). Корекція орбіти здійснюється потужними рідинними реактивними двигунами, такі ж двигуни малої тяги, а також електрореактивні, іонні та інші ракетні двигуни використовуються в системі орієнтації і стабілізації КА для розвантаження електромеханічних виконавчих органів. Для відведення КА з орбіти можуть використовуватись твердопаливні двигуни.

Несприятливий вплив на НПС розгінних блоків, як і активно функціонуючих КА, обмежується навколоземним космічним простором і характеризується механічним засміченням та хімічним забрудненням НКП. В навколоземному

космосі залишаються і постійно накопичуються відпрацьованні розгінні блоки; КА, як активні, так і ті, що припинили своє активне існування; фрагменти, що відділяються, та елементи їх конструкції; газові та аерозольні хмари, які утворюються в результаті роботи маршових ДУ розгінних блоків і КА, ДУ систем їх орієнтації і стабілізації. При роботі бортової радіоапаратури КА і РБ відбувається незначне електромагнітне забруднення НПС через малу потужність цієї апаратури, однак вказані електромагнітні випромінювання можуть спричинити видалення електронів з НКП і змінити умови роботи радіоелектронного обладнання.

Таким чином, під час роботи РБ та активного функціонування КА на НПС діють наступні несприятливі фактори: горіння КРП; викиди продуктів згоряння в навколоземний космічний простір; штатне відділення елементів конструкції КА і РБ; сам факт присутності КА і РБ в навколоземному космічному просторі; ефекти, пов'язані з електромагнітними випромінюваннями бортового радіоелектронного обладнання КА і РБ в навколоземний космічний простір.

3. 4. Вхід в атмосферу і падіння елементів, що відділяються, ракет-носіїв і космічних апаратів

Політ РН супроводжується відділенням ступенів, головного обтічника, деяких інших частин, що відділяються, і падінням їх в спеціально відведені райони. Відчуження земель під ці цілі, вилучення їх з господарського використання слід вважати несприятливою дією на НПС.

Крім того, райони падіння інтенсивно забруднюються частинами РН, що відділяються, та їх уламками, залишками КРП в ракетних блоках, які відпрацювали.

Перші ступені РН в процесі польоту в щільних шарах атмосфери обгоряють і руйнуються несуттєво. Повне або часткове руйнування їх можливе лише при падінні і ударі об землю. При цьому може відбуватись розлив, вибух або займання залишків КРП. Падіння ракетного блоку, що відпрацював, супроводжується різким високим звуком.

Нижче розглядаються особливості впливу на НПС частин, що відділяються, деяких російських РН під час падіння.

Перший ступінь РН “Протон - К” падає цілком, але при ударі об грунт і в результаті подальшого вибуху залишків КРП руйнується. При падінні ступеня в м’який сирий грунт може утворюватись воронка глибиною до 1м і діаметром 5м. Двигуни ступеню знаходяться в місці падіння, камери згоряння і сопла деформовані. Корпус бака окислювача в більшості випадків розламується на декілька частин циліндричної форми. Баки пального розкидаються вибухом в радіусі до 20м від місця падіння і сплющуються від удару об грунт. Прилади зриваються з місць кріплення, розкидаються і розбиваються. Мінімальні розміри фрагментів ступеню, що вибухнув, відповідають розмірам окремих блоків пального та окислювача.

Цілком падають на землю перші ступені РН “Циклон-2” і “Циклон-3”, але в результаті удару об грунт і наземного вибуху залишків КРП руйнуються. Баки окислювача і пального розриваються. При падінні ступеню утворюється невелика воронка, в якій залишаються основні двигуни в деформованому стані. Рульові двигуни відкидаються вибухом на 10–15 м від місця падіння ступеню.

Перший ступінь РН “Союз-У” і “Молния-М” падає на землю у вигляді чотирьох окремих бокових блоків. Баки окислювача частково деформуються, а баки пального руйнуються. ДУ сильно деформуються, але від блоків не відриваються.

Останні ступені РН або залишаються на орбітах, або входять в щільні шари атмосфери і в подальшому руйнуються, згоряють або падають в задані райони Світового океану. Неоднозначність процесів, що супроводжують падіння ракетних блоків, що відпрацювали, зумовлена відмінністю умов їх входження в атмосферу.

В Росії та інших зарубіжних країнах існують проекти створення ракетних блоків, які здійснюють після відділення керований спуск, аж до здійснення м’якої посадки в заданому районі. У цьому випадку відпадає потреба в великих площах земель, які відчужуються під райони падіння частин, що відділяються. Твердопаливні прискорювачі МТКК “Space

shuttle” здійснюють парашутний спуск в акваторію океану, після чого їх використовують повторно.

Посадка КА супроводжується сублімацією і тепловим винесенням матеріалу теплозахисного покриття в верхніх шарах атмосфери. Інші дії на НПС при цьому відсутні.

3.5. Вплив на навколишнє природне середовище ядерних енергетичних установок космічних апаратів

Обов’язковою умовою застосування ядерної енергії в космосі, як в наземних установках, є гарантоване забезпечення ядерної і радіаційної безпеки, що витікає із рішення Комітету ООН про використання космічного простору в мирних цілях.

Космічні ЯЕУ – радіаційно небезпечні об’єкти, оскільки містять велику кількість радіоактивних матеріалів, сконцентрованих в малому об’ємі. Практично на всіх етапах експлуатації ЯЕУ існує певна вірогідність аварійних ситуацій, при яких можливий вихід з-під контролю ланцюгової реакції ділення в ЯР або викид радіоактивних речовин в НПС (ЯР, РІГ). Під час роботи ЯР не виключається погіршення радіаційної обстановки через іонізуючі випромінювання, які перевищують допустимий рівень [14].

Загальна вимога до забезпечення безпеки космічних ЯЕУ: електроустановка повинна створюватись з урахуванням попереджувальних заходів, що виключають можливість радіоактивного забруднення навколишнього середовища і забезпечують безпечні радіаційні умови для персоналу і населення в період експлуатації і в аварійних ситуаціях.

Забезпечення ядерної безпеки передбачає проведення заходів, пов’язаних з відверненням неконтрольованого розвитку ланцюгової реакції ділення в АЗ реактора і виключенням можливості утворення критичної маси на всіх етапах життєвого циклу ЯР. На відміну від наземних і судових ЯР в космічних ЯЕУ відсутній спеціальний аварійний захист, що забезпечує практично миттєве гасіння ланцюгової реакції. В космічних ЯЕУ роль аварійного захисту виконують органи системи управління, які в аварійній ситуації повинні переміщуватись в

одне із крайніх положень, що відповідає негативній реактивності. Однак час такого переміщуваня може виявитись недостатньо малим, щоб запобігти розгону ЯР. В результаті може трапитись тепловий вибух ЯР, а при утворенні критичної маси при перевантаженні, транспортуванні і зберіганні тепловиділяючих зборок – потенційно небезпечне опромінювання людей.

Радіаційна безпека передбачає проведення заходів, спрямованих на відвернення небезпечного опромінювання людей і радіоактивного забрудненння НПС. Основна задача радіаційної безпеки – забезпечити безпечну для людини і навколишнього середовища експлуатацію космічних ЯЕУ. Для цього необхідно забезпечити виконання наступних вимог:

1) реактор повинен залишатись підкритичним при випадкових пошкодженнях, при зануренні в воду, ударі об землю, під час аварії РН на старті та при інших аварійних ситуаціях під час запуску і польоту;

2) запуск ЯР повинен здійснюватись тільки після виведення його на робочу орбіту або траєкторію польоту;

3) реактор повинен мати дві незалежні системи зниження його реактивності до підкритичного стану, вони не повинні виходити з ладу одночасно при одній і тій же несправності енергоустановки;

4) повинна існувати система виведення ЯР з низької навколоземної орбіти на більш безпечну – високу;

5) повинна забезпечуватись можливість штатного повернення на землю в непошкодженому стані, а при аварійному поверненні – згоряння в верхніх шарах атмосфери і розпилювання до безпечних рівнів;

6) ЯЕУ повинна залишатись непошкодженою при різних аварійних ситуаціях на всіх етапах життєвого циклу;

7) неопромінене паливо не повинно становити небезпеку для НПС, а можливість його викиду повинна бути відвернена або знижена до прийнятного рівня;

8) при ненавмисному виході на критичність можливість опромінення персоналу і населення повинна бути відвернена або ризик його знижений до прийнятного рівня.

Слід відмітити, що наявність виконання цих вимог не гарантує абсолютної надійності щодо забезпечення радіаційної безпеки космічних ЯЕУ. Вона просто неможлива. Тому їх експлуатація пов'язана з певним ризиком, межі якого слід встановлювати достатньо об'єктивно. Основний ризик пов'язаний з потенційною можливістю виходу радіоактивних речовин при аварійному порушенні закладених в проект ЯЕУ вимог безпеки.

В даний час широкого поширення набуває вірогідний метод аналізу безпеки, заснований на кількісній оцінці ризику – вірогіднісна оцінка безпеки (ВОБ).

Основою такого підходу є аналіз можливих сценаріїв аварії, а також послідовне дослідження всіх сил, які можуть діяти на ЯЕУ в процесі її експлуатації та після відпрацювання ресурсу установки, і наслідків аварій. В найпростішому випадку ризик (R) визначається добутком вірогідності події на наслідок цієї події:

$$R = ph,$$

де p – вірогідність або частота певного небажаного явища в припущенні, що викид радіоактивності є безперервна функція вірогідностей події, яка приводить до верхньої оцінки ризику; h – наслідки цієї події, визначені у відносному або абсолютному вигляді (наприклад, дозове навантаження на людину в берах). Можлива радіаційна безпека (H) на всіх етапах життєвого циклу ЯЕУ визначається як сума всіх екстремальних ситуацій на етапах життєвого циклу з врахуванням їх вірогідності та їх дії на все населення або на обмежену групу людей:

$$H = \sum_i \sum_j p_{ij} h_{ij},$$

де p_{ij} = вірогідність *j*-ї ситуації на *i*-му етапі; h_{ij} – ризик для *j*-ї ситуації на *i*-му етапі.

Дане рівняння – основа математичної моделі радіаційної безпеки при заданому призначенні ЯЕУ. Значення p_{ij} можна в багатьох випадках підрахувати. Наприклад, вірогідність приземлення в певному районі об'єкта, що випадково ввійшов в атмосферу і не згорів при цьому, дорівнює відношенню площі

цього району до площі поверхні Землі. Для роду ситуацій її можна визначити на основі відомих даних, які описують характер або моменти розподілення, а також частоти виникнення цих ситуацій. Наприклад, є дані про природно діючі фактори, про аварії різного ряду на всіх видах транспорту, про аварійні ситуації під час запуску і польоту КА, про надійність елементів системи управління ЯЕУ тощо.

Величину h_{ij} можна визначити граничними нормами радіаційної безпеки: наприклад, за максимально допустимими концентраціями радіоактивних палив в воді, повітрі, грунті для умов професійного і непрофесійного опромінення або дозами зовнішнього опромінення. Іноді аварія може створити локальну небезпеку. Тому модель повинна враховувати розміри району, його місцерозташування, географічні дані (вітер, течії тощо), густоту населення. Так, радіоактивне паливо, що просочилось внаслідок корозії контейнера в морську воду, може бути внесене в біосферу в результаті циркуляції океанічних мас.

Поки що підраховані лише найбільш суттєві p_{ij} і h_{ij}; нині для розрахунків застосовується неповна математична модель і тому необхідне її подальше вдосконалення.

Дія радіаційних факторів на навколишнє середовище при експлуатації ЯЕУ суттєво залежить від чотирьох її важливих станів:

– споряджений, але не запущений ЯР, РІГ в паливній капсулі (штатні режими наземної експлуатації) – радіаційна небезпека практично відсутня;

– аварійна ЯЕУ (викид в НПС радіоактивного палива);

– ЯР, працюючий в штатному режимі (джерело інтенсивного гама-нейтронного випромінювання);

– виключений ЯР (джерело інтенсивного випромінювання). Основні етапи експлуатації ЯЕУ:

1) транспортування спорядженої ЯЕУ, аварійні ситуації пов’язані з аварією транспортних засобів: удари при падінні, пожежі, вибуху;

2) зберігання, аварійні ситуації – землетруси, затоплення сховищ, пожежі, падіння літаків на сховище;

3) передстартова підготовка і запуск ракети, аварійні ситуації – відмова органів регулювання при їх перевірці, вибух РН, попадання в ракетне паливо, що загорілося, падіння з висоти і удари;

4) виведення на орбіту, аварійні ситуації – відмова системи регулювання при фізичному пуску ЯР, відмова систем РН і падіння з різним ступенем руйнування в результаті аеродинамічного нагріву, вибух останніх ступенів РН;

5) функціонування на орбіті в штатному режимі – випускання гама-нейтронного випромінювання, аварійні ситуації – відмова систем управління КА і систем регулювання ЯЕУ, зіткнення з “космічним сміттям” або метеоритом;

6) завершення штатного функціонування, виключення ЯЕУ, переведення на високі орбіти, аварійні ситуації – відмова систем забезпечення радіаційної безпеки, аварійний вхід в атмосферу, зіткнення з “космічним сміттям” на орбітах виведення.

Розгляд кожного етапу і пов’язаних з ним аварійних ситуацій не відноситься до будь-якої конкретної ЯЕУ і носить загальний характер для всіх космічних польотів. Більш детальний аналіз даного принципіального підходу найбільш чітко проявляється при розгляді ЯЕУ певного типу і його призначення.

Для попередження небезпечних наслідків витікання радіоактивних палив у випадку аварії необхідно заздалегідь передбачити можливість розведення їх до безпечної концентрації. Таке розведення можливе лише в атмосфері чи в океані. Обидва ці середовища мають області, в яких радіоактивне паливо може знаходитись тривалий час, перш, ніж попаде в біосферу.

Можливі аварії ЯЕУ носять звичайно локальний характер. Найбільш небезпечними є наземні аварії, коли паливо перетворюється в вибухову хмару і згоряння його відбувається при вході в атмосферу на великій висоті.

Вибухова хмара на поверхні може переміщуватися на значні відстані, що визначається переважно місцевими метеорологічними умовами. В стратосфері вертикальне переміщення шарів повітря на низьких широтах незначне

порівняно з полярними областями. Час перебування часток мікронних розмірів в стратосфері на низьких широтах складає від 5 до 10 років, а в полярних областях – біля року.

Космічний об’єкт, який входить в атмосферу, може не згоріти. Вірогідність його падіння в океан складає 59,4 % (вірогідність падіння на сушу або лід складає відповідно 22,6 і 18 %). Звідси ясно, що морські течії і циркуляція океанських мас мають для поширення радіоактивного палива не менше значення, ніж рух повітряних мас.

Можливі шляхи поширення радіоактивного палива в біосфері показані на рис.3.4.

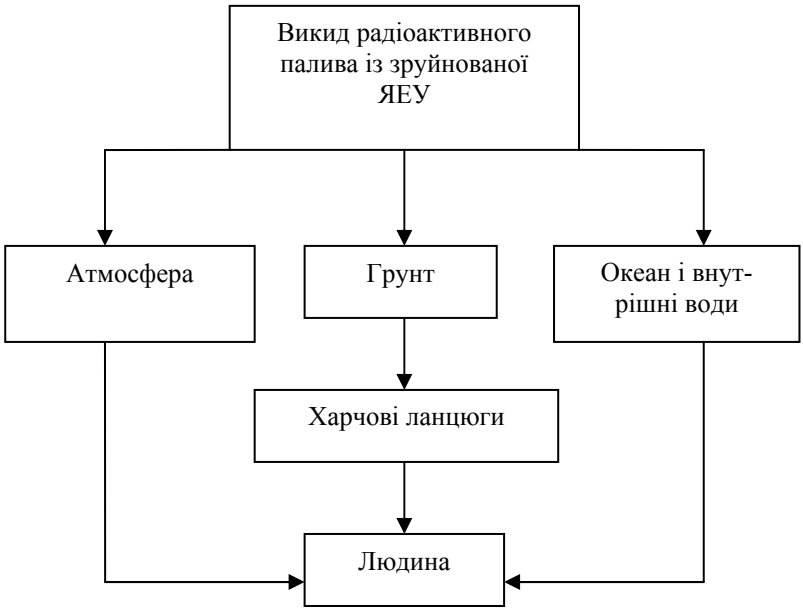


Рис. 3.4. Можливі шляхи поширення радіоактивного палива в біосфері

Таким чином, вся різноманітність шкідливих екологічних факторів при експлуатації ЯЕУ може бути об'єднана в три основні групи:

1) радіоактивне забруднення атмосфери, поверхніі Землі, що виникає в результаті викиду ядерного палива із зруйнованої ЯЕУ або її згоряння при вході в атмосферу;

2) виникнення в НПС додаткового "космічного сміття" (ЯЕУ та її фрагменти на орбітах захоронення);

3) поля іонізуючих випромінювань, що утворюються при роботі ЯЕУ в штатному режимі та при розміщенні забрудненого ЯР на орбітах захоронення.

3.6. Фактори впливу на навколишнє середовище аварійних ситуацій з РКТ

Найбільш значимі екологічні наслідки аварійних і нештатних ситуацій з РКТ пов'язані з дією на поверхню землі і характеризуються тривалим забрудненням грунтів, поверхневих і підземних вод, зараженням рослинного покриву, дією на живі організми і людину [15].

Визначають кілька сценарієв виникнення і розвитку аварійних ситуацій, які мають екологічний вплив на поверхню землі: аварії при перевезенні і зберіганні РКТ; аварії в районі стартового комплексу при підготовці до запуску і пуску РН; нештатне (аварійне) падіння незруйнованої РН на поверхню землі.

До основних механізмів екологічної дії відносяться:

- роздільний (без змішування і займання) розлив КРП;
- розлив і горіння КРП (пожежа) в результаті їх змішування.

У випадку застосування при аварії системи пожежогасіння і пожежовибухопопередження можливе попадання в атмосферу хлорфторвуглеводнів (ХФВ) – робочих тіл цих систем, що є активними руйнівниками озону, а також продуктів хімічних реакцій між ХФВ і речовинами, що горять.

Не менш важливе значення мають аварії РКТ, насамперед вибухи, і при польоті РН і РБ або функціонуванні КА на орбітах.

3.6.1. *Аварії РН з висококип'ячими токсичними КРП*

Найбільшу екологічну небезпеку складають ситуації, пов'язані з великими аварійними виливами компонентів токсичних ракетних палив в густонаселених місцях, виробничих приміщеннях тощо – виливи гідразинових пальних та азотних окислювачів в кількості 50–100 кг. За аварійний великий вилив на відкритій місцевості, залізничних перегонах приймається вилив КРП понад 1 тону.

Потенційними джерелами несанкціонованих (аварійних) великих виливів є аварії на залізничному транспорті при транспортуванні КРП; аварії автозаправників з КРП; падіння заправленого виробу на поверхню землі при транспортуванні, завантаженні, пуску; розгерметизація заправленого виробу внаслідок механічної дії (удари, трясіння); порушення герметичності оболонок, резервуарів, засобів доставки КРП при транспортуванні морським транспортом.

Як свідчить досвід експлуатації висококип'ячих КРП в російській космічній галузі, аварійні виливи КРП зустрічаються дуже рідко. Однак на об'єктах промисловості (стендах, складах тощо) існує вірогідність виникнення великих виливів КРП у випадку грубого порушення правил експлуатації наземного транспортно-заправочного і складського обладнання.

При роздільному виливі компонентів на грунт відбувається випаровування їх з поверхності грунту, міграція по його профілю, сорбція КРП складовими частинами грунту і взаємодія з киснем, водою та хімічними елементами грунту. Міграційна здатність КРП в грунті і глибина їх проникнення в грунт залежить від фізико-хімічних властивостей компонентів, сорбційної здатності грунту, його типу, хімічного складу, водного режиму тощо.

Негативна дія таких аварій РН з висококип'ячими компонентами внаслідок високої токсичності КРП проявляється в локальному зараженні грунту (водойм).

Забруднений грунт може бути причиною зараження води річок і відкритих водойм (озер, ставків) внаслідок надходження КРП з талими і зливовими стоками, а також джерелом забруднення трав, культурних рослин, які є продуктами харчування для тварин і

людини. При попаданні в грунт КРП можуть зберігатись там тривалий час (місяці, роки) і стати джерелом забруднення атмосфери і підземних вод.

Розміри і наслідки аварій з виливом і горінням токсичних КРП залежать від характеру і ступеня змішування компонентів, кінетичних параметрів КРП і зовнішніх умов (тиску і температури). Гідразинове пальне та азотний окислювач являють собою пару, що самозапалюється. Це явище починається в рідкій фазі, а закінчується в газовій, тобто моменту запалювання передує випаровування речовин за рахунок екзотермічних передполум'яних реакцій, що протікають в рідкій фазі. При цих реакціях виділяється велика кількість тепла і утворюються активні проміжні продукти, які надходять у газову фазу і викликають їх запалювання.

За оцінками російських виробників РКТ падіння аварійних виробів на землю є маловірогідним і може відбуватись з частотою 1 раз за 15 – 20 років при темпі пусків РН 15- 20 в рік. Мова йде про аварії РН на висотах до 10 км, через 10 с польоту після старту. РН при цьому падає, не руйнуючись, на відстанях 5 – 7 км від місця старту. Швидкість падіння не перевищує 400 м/с, до висоти 10 км виробляється біля третини заправленого палива. Однак екологічні наслідки такої події можуть бути надто важкими, особливо коли в районі падіння знаходяться заповідники (заказники), райони водозбору, хімічні підприємства, атомні електростанції і т.п.

Забруднення грунту і біоти можливе і при аварійній розгерметизації паливних баків на початковому відрізку польоту, яка призводить до попадання пального та окислювача в НПС в рідкому і газоподібному стані. За численними оцінками забруднення грунту і біоти токсичними КРП, викинутими в рідкому і газоподібному стані можливе лише при аваріях на висотах 5 – 7 км. Це пояснюється тим, що краплі палива, падаючі з великих висот, не досягають поверхні землі, а роздрібнюються і випаровуються, утворюючи газоподібну хмару токсичних речовин, яка швидко розсіюється під дією атмосферних вітрів і турбулентної дифузії.

Розгерметизація паливних баків РН на початковому відрізку польоту може призвести до забруднення приземного шару атмосфери, де можна виділити такі механізми впливу аварії РН:

викид в атмосферу КРП в рідкій фазі і продуктів їх вибухоподібної взаємодії; випаровування КРП в районах аварійних виливів, попадання продуктів горіння КРП та елементів конструкції РКТ в атмосферу при пожежі в зоні аварії.

Під час аварії чи руйнування засобів доставки КРП, розгерметизації РН на стартовому комплексі відбувається випаровування КРП. Висококип'ячі компоненти в газоподібному або пароподібному стані переміщуються з повітрям і утворюють хмару, яка поширюється в напрямі вітру, утворюючи на своєму шляху осередок зараження.

3.6.2. *Аварії РН з низькокип'ячими (кріогенними) і вуглеводневими КРП*

В екологічному відношенні кріогенні палива і пари "вуглеводневе пальне – кріогенний окислювач" суттєво безпечніші, ніж висококип'ячі палива. Роздільні виливи водню і кисню не мають суттєвих екологічних наслідків, крім часткового і локального ураження рослинного покриву в зоні виливу.

В зоні роздільного виливу водню відбувається його випаровування. В результаті утворюється воднево-повітряна суміш, здатна запалюватись і горіти в широких концентраційних границях (4,0–74,2 %). Оскільки газоподібний водень при температурах, близьких до температури кипіння, має більш високу густину, ніж повітря при нормальній температурі, воднева хмара "стелеться" біля поверхні землі і може поширюватись на великі відстані (кілька десятків метрів). Внаслідок того, що теплове випромінювання воднево-повітряного полум'я достатньо високе, його дія на обслуговуючий персонал може виявитись на значних відстанях від місця горіння. Крім того, вона може викликати запалювання хмари, що утворюється в сусідній віддаленій точці витікання.

У випадку виливу вуглеводневого пального (тип РГ-1, RP-1) екологічні наслідки визначаються токсичністю речовини і характеризуються утворенням площинних забруднень (лінз) на поверхні землі, які можуть існувати місяцями і роками.

При аварії ракети в районі стартового комплексу вилив пари КРП "вуглеводневе пальне – кріогенний окислювач"

супроводжується утворенням зони пожежі в міру змішування і згоряння компонентів палива на стартовому столі, яке починається з детонації невеликої кількості палива (швидкість детонації 100 – 1500 м/с) і супроводжується виділенням відповідної енергії. В результаті розширювання продуктів детонації тиск на протязі декількох мілісекунд знижується. Однак паливо продовжує надходити в зону детонації і згоряти там при тиску, близькому до тиску навколишнього середовища. Завдяки повільному випаровуванню пального (порівняно з часом випаровування окислювача), вибух не виникає. Продукти, що при цьому утворюються – слаботоксичні або нетоксичні.

При виливах водню в безпосередній близькості від виливів окислювача (кисню) концентраційні границі збільшуються (4,7 – 93,9 %) і підвищується вірогідність вибуху або пожежі. Потужність вибуху залежить від характеру виливу і кількості вилитих компонентів. При вибухах РН виникає ударна хвиля, яка швидко перетворюється в акустичну.

Випаровування кисню, водню, вуглеводневого пального не несуть екологічної небезпеки.

3.6.3. *Аварії РН з твердопаливними ракетними двигунами і вибухи на орбіті*

Найбільш характерною аварією для твердопаливних ракет є вибух на старті або в польоті. Вибух ракети може бути викликаний нештатним запалюванням і горінням заряду палива двигунної установки ступеню, що, як правило, призводить до детонації зарядів інших ступенів. В процесі експлуатації РКТ вибух ракети може виникнути у випадку нештатної ситуації (падіння ракети із стартового столу, механічні пошкодження заряду тощо).

Під час вибуху твердопаливної РН утворюється стійка аерозольна хмара, що складається із продуктів вибуху, вихідних компонентів твердого палива і тонко дисперсних часток (декілька тонн) від руйнування корпусу ракети. Аерозольна хмара піднімається на висоту до 2 км і поширюється в залежності від метеоумов на декілька десятків кілометрів від зони вибуху.

Надто небезпечними в екологічному відношенні слід вважати вибухи на орбіті останніх ступенів РН,РБ і КА, в результаті яких різко збільшуються об'єми "космічного сміття".

Рівень засміченості навколоземного простору в результаті орбітальних вибухів залежить від орбіти космічного об'єкта, положення його на орбіті в момент вибуху, а також від потужності вибуху. Так, в результаті вибуху третього ступеня РН "Аріан" 13 листопада 1986 року на висоті 820 км над поверхнею землі безпосередньо після вибуху утворилось 465 крупних фрагментів "космічного сміття", які зразу ж були відслідковані і зареєстровані наземними засобами. Тільки 3 з цих фрагментів отримали приріст швидкостей, достатній для сходження з орбіт в щільні шари атмосфери. Інші 462 залишились в навколоземному космічному просторі на тривалий час. Крім того, утворилось багато невидимих фрагментів "сміття".

Моделювання процесу поширення хмари "космічного сміття", яке утворилося в результаті орбітального вибуху, показує, що на протязі 4-5 років відбувається зміна положення вузлів орбіт з осколками вибухів таким чином, що ці осколки "накривають" всю земну кулю і підсумовуються з загальним фоном засміченості навколишнього простору.

3.6.4. *Нештатні ситуації на засобах командно-вимірювального комплексу*

Найбільш небезпечним для НПС і людини із всіх можливих нештатних ситуацій на випромінюючих засобах КВК є зниження місця розташування випромінювача антенного пристрою, яке перевищує допустиме. Як показали дослідження, висока густина потоку енергії (ГПЕ) електромагнітного випромінювання в секторі основної пелюстки діаграми направленості радіотехнічних засобів КВК може спричинити опромінювання людей вище встановлених норм у випадку кута місця антени менше 7º. В умовах аномального поширення радіохвиль (явище надрефракції), яке найбільш часто спостерігається в ранішні і вечірні години влітку, обслуговуючий персонал і населення можуть опинитись у зоні дії бокових пелюсток діаграми направленості радіотехнічних засобів КВК. При цьому деякі засоби в умовах над рефракції при кутах місця антени,

близьких до 7º–10º, навіть на віддаленні 10 км здатні створювати біля поверхні землі густину потоку енергії на два порядки вищу від безпечної.

Аварійні ситуації зумовлені несправним технічним станом засобів КВК і неправильними діями обслуговуючого персоналу. Аварії можуть виникати і з незалежних від персоналу причин (руйнування станції при стихійних лихах). Особливу небезпеку для персоналу і НПС становлять аварії, в яких непередбачувано виникає витік електромагнітного поля і відповідно опромінювання персоналу вище граничних рівнів. При цьому надзвичайні ситуації створюються для населених закритих приміщень, де безпосередньо виробляється і каналізується електромагнітна енергія надвисоких частот.

Таким чином, результатом дії нештатних ситуацій та аварій на засобах КВК є опромінювання персоналу полями НВЧ, рівень яких перевищує допустимий. В загальному випадку в аварійних і нештатних ситуаціях може виникати весь комплекс факторів, що діють на НПС, названих в розділах 3.1–3.5.

3.7. Фактори впливу на НПС при утилізації (ліквідації) застарілої РКТ

Утилізація РКТ – це технологічний процес надання РН, їх складовим частинам, елементам і матеріалам споживчих властивостей, які дозволяють використовувати їх як товари військового і народногосподарського призначення. Відходи утилізації підлягають захороненню. Якщо будь-які вироби РКТ неможливо утилізувати, вони підлягають ліквідації.

Під час утилізації РН з рідинними реактивними двигунами необхідно виконати такі види робіт: нейтралізація ракети і її розбирання; підготовка до утилізації, розбирання ракети і її елементів; утилізація основних елементів; утилізація матеріальної частини; захоронення відходів.

Перед початком робіт в процесі нейтралізації здійснюється контроль забрудненості парами КРП баків РН і повітря робочої зони. В процесі підготовки до утилізації ракети проводиться демонтаж приладів, кабельних мереж, трубопроводів, зняття двигунних установок і пірозасобів, які ще залишились.

Під час утилізації РН з твердопаливними ракетними двигунами передбачається такий об'єм робіт: розбирання ракети на складові частини; розбирання ракетного двигуна, порохових акумуляторів тиску, порохових ракетних двигунів, продуктів згоряння; вилучення зарядів твердого палива із ДУ; підготовка до утилізації та утилізація матеріальної частини; захоронення відходів утилізації.

Розбирання ракети здійснюється шляхом розділення її на складальні одиниці з використанням технологій, які рекомендують заводи – виробники при збиранні серійних виробів із застосуванням процесів розбирання. Ракети розбираються на ступені, сполучні агрегатні і приладові відсіки. З елементів ракет знімаються прилади системи управління і прицілювання, допоміжні двигуни, пірозасоби, демонтується бортова кабельна мережа. Двигунна установка розбирається на складові частини: корпус з зарядами, запалювальні пристрої, соплові блоки. З ракет вилучаються електронні та електромеханічні пристрої і прилади. Після розбирання проводиться зовнішній огляд і підготовка ступенів до видалення палива і дефектоскопія зарядів з метою визначення методу видобування твердого палива. Способи утилізації залишків матеріальної частини виробів РКТ вибираються, виходячі з їх конструктивних особливостей і вибраної технології вилучення вторинних матеріально-сировинних ресурсів.

Захоронення відходів утилізації (залишки хімреагентів, продуктів розкладу ракетних палив та ін.) повинно проводитись з врахуванням діючих санітарних норм, вимог конструкторської і технічної документації.

Під час захоронення відходів утилізації РКТ повинні виконуватись такі вимоги:

- не допускається захоронення горючих відходів;
- рідкі відходи перед захороненням обезвожуються;
- захоронення хімічно агресивних і високотоксичних відходів (1 клас небезпечності) здійснюється в металічних контейнерах, залізобетонних бункерах; відходи менш токсичні – в траншеї глибиною від 2 до 5 м. Тип могильника і спосіб захоронення визначаються класом небезпеки певного виду відходів. Клас небезпеки нетрадиційного виду відходів встановлюється на основі даних про концентрацію небезпечних речовин у відходах, їх водорозчинність, токсичність.

Після припинення експлуатації могильника проводиться його консервація, яка включає комплекс заходів щодо забезпечення захисту поверхні від вітрової ерозії, від проникнення зливової і паводкової води. Основний об'єкт контролю стану могильника – проби ґрунтової води, які періодично відбираються у спостережних свердловинах.

Обов'язковій ліквідації, як правило, підлягають заряди твердопаливних ракетних двигунів. В Росії і США прийнята технологія ліквідації зарядів методом пропалювання з очисткою викидних газів на закритих стендах. Можлива ліквідація і за допомогою вибухів твердопаливних ракетних двигунів. У першому випадку ракетні двигуни вміщуються в герметичну камеру, яка є акумулятором-ресивером продуктів згоряння. Згоряння палива відбувається при пониженому тиску, а, значить, при понижених швидкостях. Із ресивера продукти згоряння проходять через систему скруберів. На виході відбувається допалювання СО.

Допоміжні двигуни масою 20 кг і менше ліквідуються методом вогневих стендових випробовувань в спеціальній установці.

Органо- і вуглепластикові елементи конструкції твердопаливних ракетних двигунів (корпус і сопловий розтруб) утилізуються методом піролізу. Тверді продукти піролізу роздрібніються, пакетуються, після чого використовуються як сировина, наприклад, для виробництва вуглецевих сорбентів.

Заряди твердопаливних ракетних двигунів, що мають внутрішні пошкодження, ліквідувати методом пропалювання неможливо через можливу детонацію твердого палива. В цьому випадку заряд ліквідується механічним способом під дією струменя гідромонітора високого тиску. Отримана суспензія підлягає захороненню.

Таким чином, при утилізації (ліквідації) РКТ на НПС можуть діяти такі несприятливі фактори: виливи токсичних КРП; випаровування токсичних КРП; горіння КРП; горіння матеріалів конструкції виробів; продукти вибухів твердопаливних ракетних двигунів.

3.8. Способи зниження впливу РКТ на НПС

В силу своєї специфіки ракетно-космічна техніка чинить негативну дію на НПС. Мова може йти лише про деяке обмеження

(зниження інтенсивності) такої дії. Пропозиції щодо способів цього обмеження можна розділити на 5 основних груп за ознаками складових навколишнього середовища – об'єктів обмеженої дії: поверхня землі; приземні шари атмосфери і тропосфера; озоновий шар; верхня атмосфера та іоносфера; навколоземний космічний простір.

Для обмеження дії РКТ на поверхню Землі виконуються наступні заходи.

1. Зменшення залишків КРП в ступенях РН, що відпрацювали:

- зменшення залишків КРП на активному відрізку траєкторії;
- вдосконалення методів управління рухом РН і витрати палива;
- забезпечення потрібної динаміки руху РН на ділянці розділення ступенів з метою стабілізації поверхні рідини в баках;
- запуск РН за енергетично неоптимальною траєкторією;
- виключення ДУ РН "на пронос";
- індивідуальна заправка РН;
- очистка блоків РН від залишків КРП на пасивному відрізку траєкторії;
- скидання залишків КРП в НПС;
- допалювання залишків КРП з подальшою наземною нейтралізацією;
- вдосконалення обладнання засобів виведення.

2. Зменшення кількості і розмірів районів падіння частин РН, що відділяються:

- зменшення розсіювання точок падіння частин, що відділяються, і зменшення розмірів РП;
- прийняття рішення про допустимість падіння частин, що відділяються, з певною вірогідністю за межами РП, аналіз фактичного розсіювання точок падіння і скорочення прийнятих РП в міру набору статистики;
- врахування сезонних і широтних варіацій параметрів атмосфери;
- застосування "крутих" траєкторій (з кутами кидання більше 40^0);
- забезпечення падіння блоків у в'язці;
- використання засобів управління спуском частин РН, що відділяються, в РП;
- вдосконалення методів управління виведенням РН;

- збереження цілісності частин, що відділяються, на пасивному відрізку траєкторії;
- використання технічних засобів скорочення розсіювання;
- мінімізація залишків КРП в частинах, що відділяються;
- зменшення кількості РП;
- суміщення РП частин, що відділяються, за дальністю;
- просторовий маневр верхніх ступенів РН;
- створення систем виведення частин, що відділяються, в РП;
- повернення частин, що відділяються, на старт.

3. Детоксикація та очистка штатних скидів шкідливих і токсичних речовин на рельєф місцевості.

4. Періодичне збирання та утилізація частин РН, що відділяються, які накопичуються в районах падіння.

До заходів щодо обмеження дії РКТ на приземні шари атмосфери і тропосфери відносяться:

- мінімізація (виключення) дренажних викидів в атмосферу високотоксичних КРП при роботах на СК;
- дегазація забрудненого повітря;
- використання КРП з мінімальною токсичністю продуктів згоряння.

Заходи щодо обмеження дії РКТ на озоновий шар включають:

- виключення із складу палив твердопаливних прискорювачів сполук, продукти згоряння яких призводять до активної дії на озоновий шар Землі;
- виключення використання ХВФ в перспективних комплексах і системах, як робочих тіл;
- використання в агрегатах і системах існуючих космічних комплексів ХФВ з пониженою озоноруйнівною активністю (наприклад R22 та ін.);
- оснащення космічних систем і комплексів та їх складових частин, що використовують ХФВ як робочі тіла, системами і засобами контролю, збирання та утилізації ХФВ;
- мінімізація часу перебування РН в озоновому шару Землі.

Обмежити і знизити дію РКТ (РН і РБ) на іоносферу і верхню атмосферу Землі можна лише за рахунок реалізації схем виведення, які виключають роботу ракетних двигунів в діапазоні висот приблизно 200 – 300 км.

До заходів щодо обмеження і зниження дії РКТ на навколоземний простір відносяться:

- вилучення із НПС шляхом переведення на траєкторію зниження в щільні шари атмосфери або на траєкторію виходу із сфери тяжіння Землі (якщо це енергетично більш вигідно) елементів РН (останніх ступенів, розгінних блоків), які залишаються після відділення КА від РН на орбітах тривалого існування (висотою більше 200 км або еквівалентних їм за часом балістичного існування);
- зменшення кількості технологічних елементів РН, РБ і КА, що відділяються;
- попередження руйнування елементів космічних комплексів на орбіті за рахунок забезпечення вибухобезпеки останніх ступенів РН, РБ і КА та їх технологічних фрагментів, які штатно від них відділяються.

4. ДІЯ РКТ НА ПОВЕРХНЮ ЗЕМЛІ

4.1. Хімічне забруднення грунту

При нормальній експлуатації РКТ хімічне забруднення грунту відбувається в результаті осідання продуктів згоряння стартової хмари в районі СК, а також вплив залишків КРП частин РН, що відділяються, в РП.

4.1.1. *Осідання продуктів згоряння в районі старту РН*

Первинним процесом поширення на поверхні Землі продуктів згоряння ракетних палив є їх “сухе” і “мокре” осадження – пряме перенесення з подальшою адсорбцією газів і частинок природними поверхнями. “Мокре” осадження (вимивання) – непряме перенесення деяких часток із атмосфери до поверхні землі з дощем, снігом або градом в середині або на поверхні часток відповідних видів опадів.

Кількість речовини M_p(в розрахунку на одиницю площі), що випадає на земну поверхню на заданих відстанях в результаті “сухого” осадження, визначається за формулою:

$$M_p = V_g \int_0^\infty q_p dt ,$$

де q_p– концентрація речовини на заданій відстані; V_g– гравітаційна швидкість осідання речовини, яка визначається за допомогою закону Стокса [16]:

$$V_g = \frac{2r^2cg}{9з},$$

де r – радіус частки речовини; g – прискорення вільного падіння; η – в'язкість газового середовища (повітря); ρ – густина частки речовини.

При виливі КРП на грунт відбувається їх випаровування з поверхні, міграція вздовж профілю грунту, сорбція КРП складовими частинами грунту і взаємодія з киснем, водою та хімічними елементами грунту. Міграційна здатність в грунті і глибина їх проникнення в грунт залежать не тільки від фізико-хімічних властивостей компонентів, а й від сорбційної здатності грунту, його типу, хімічного складу, водного режиму тощо. При попаданні на грунт КРП можуть тривалий час (місяць, роки) зберігатись в грунті і можуть бути джерелом забруднення атмосфери, причиною зараження води річок і відкритих водойм (озер, ставків), а також джерелом забруднення трав, культурних рослин – продуктів харчування домашніх тварин і людини.

Концентрації шкідливих речовин в грунті в зоні виливів невідомі, тому вони визначаються розрахунками.

Маса КРП, поглинутого ґрунтом в результаті виливу визначається за формулою:

$$M_{погл}=M-M_{вип},$$

де M – маса вилитого на грунт КРП (кг); $M_{вип}$ – маса (кг) компонента, що випарувався, за час існування виливу t.

Маса компонента, що випарувався:

$$M_{вип}= wS_{вил} \cdot t^*,$$

де w – питома швидкість випаровування вилитого компонента, кг/(м^2·с); $S_{вил}$ – максимальне значення площі виливу, м^2; $t^* = kt_{вип.}$, де $t_{вип.}$ – повний час випаровування КРП без врахування вбирання грунтом; k – безрозмірний коефіцієнт, що враховує зменшення часу випаровування при виливі на проникну основу ($0 \leq k < 1$)

$$k = 1 - (\sqrt{G^2 + 2G} - G)$$

$$G = \frac{2}{p} C^2_{max} D_{еф} S_{вил} /(wM)$$

де G – безрозмірний критерій подібності, що характеризує співвідношення швидкостей процесів поглинання компонента грунту та його випаровування в атмосферу; $C_{мах}$ – максимально можлива концентрація компонента для грунту даного типу;$D_{еф}$– коефіцієнт ефективної дифузії компонента у грунті; $C_{мах}$ і $D_{еф}$ визначаються експериментально для різних типів грунтів і компонентів палив (табл.4.1).

Таблиця 4.1

Значення $C_{мах}$ і $D_{еф}$ для різних типів грунтів при виливі НДМГ

Тип грунту	$C_{мах}$, г/см^3	$D_{еф}$, см^2/с
Пісок	3,1	1,44
Торф	4,2	1,21

Максимальне значення площі виливу визначають за формулою:

$$S_{вил} = Mk_1\sqrt{g/(2c\sigma)},$$

де k_1– безрозмірний коефіцієнт, який залежить від типу основи (табл.4.2); g – прискорення вільного падіння, м/с^2; ρ – густина вилитої речовини, кг/м^3; σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м.

Таблиця 4.2

Значення безрозмірного коефіцієнта k_1

Тип основи	k_1
Асфальт	0,72
Бетон	0,84
Вічна мерзлота	0,67

Тривалість існування дзеркала виливу без врахування вбирання грунтом визначається за допомогою виразу:

$$t_{вил} = M/(S_{вил}\cdot w).$$

Питому швидкість випаровування можна визначити за допомогою виразу [1]:

$$w = A\frac{\mu\sqrt[3]{D^2\nu}}{RT}P_S,$$

де A – безрозмірний коефіцієнт турбулентної дифузії; μ – молекулярна маса речовини, кг/моль; D – коефіцієнт дифузії даної речовини в повітрі, м^2/с; v – кінематична в'язкість повітря, м^2/с; P_s – тиск насичених парів речовини (Па) при температурі повітря Т(К); R – універсальна газова стала, Дж·моль$^{-1}$К$^{-1}$.

Значення безрозмірного коефіцієнта турбулентної дифузії А визначається із експериментально отриманого співвідношення:

$$A = 18167+4260 \cdot V,$$

де V – швидкість вітру на висоті 2 м.

Тиск насичених парів (Па) забруднюючої речовини при заданій температурі визначається за формулою:

$$Ps = 10^{a-в/T},$$

де a, $в$ – коефіцієнти, що залежать від роду речовини. Для насичених парів НДМГ

$$P_s = 10^{8,15 - 1770/T},$$

Маси залишків КРП в ступенях російських РН наведені в табл.4.3.

Таблиця 4.3

Маси залишків КРП в ступенях російських РН

Тип РН (КРП)		Маси залишків КРП, кг	
		ислювач	паливо
с-3М» (АК-27и+НДМГ)	1 ст. ст.	997 115	588 80
н-2» (АТ – НДМГ)	ст. ст.	1280 360	650 200
н-3» (АТ – НДМГ)	ст. ст. ст.	1350 370 125	650 215 90
» (АТ+НДМГ)	ст. ст.	348 76	295 30
У» (O_2+ВВП)	ст. ст. ст.	1740 660 190	820 260 80
(O_2+ВВП)	ст. ст. ст.	1740 660 190	820 260 80

ия» (O_2+ВВП)	ст. ст. ст.	1740 660 190	820 260 80
(O$_2$+ВВП)	ст. ст.	3397 487	1973 353
н-К» (АТ+НДМГ)	ст. ст. ст.	3080 915 450	1780 500 210
-КМ» (АТ+НДМГ)	ст. ст. ст.	2100 550 400	1200 320 150
1» (СТРТ)	ст. ст. ст. ст.	40 3,5 3,3 3,3	

4.1.2. Вплив КРП на грунтово-рослинний покрив

Найбільш шкідливими для НПС компонентами ракетного палива є **гідразинові палива.** В результаті попадання гідразинового палива в грунт при його розкладі утворюється вода, вуглекислий газ і молекулярний азот, а також ряд токсичних продуктів: диметиламін C_2H_7 (ДМА), нітрозодиметиламін $C_2H_5N_2O$ (НДМА), метилендиметилгідразин C_3H_8N (МДМГ), тетраметилтетразен (ТМТ), формальдегід H_2CO (ФА), синильна кислота HCN.

Такі палива міцно зв’язуються з органо-мінеральним комплексом грунту, можуть утворювати стійкі сполуки з вугільною кислотою, при попаданні в грунт гідразинові палива можуть тривалий час (місяці, роки) зберігатись, накопичуватись в поверхневому шарі і мігрувати в більш глибокі шари. Гідразинові палива поглинаються (сорбуються) ґрунтами за іонно-обмінним механізмом: чим вища катіонообмінна ємність грунту, тим більший ступінь поглинання гідразинових палив. Глинисті грунти сорбують гідразинові палива на 70-90 %, а піщані – на 2-46 %. За сорбційною здатністю щодо гідразинових палив грунти розташовують в такій послідовності: поверхневий горизонт, мул озерний, мул річковий, глина, пісок, а за

ступенем поглинання – поверхневий горизонт, глина, мул озерний, мул річковий, пісок.

Зниження концентрації гідразинових палив в грунті відбувається нерівномірно: найбільш різко знижується вміст за перші 5 днів, що свідчить як про інтенсивне поглинання гідразинових палив елементами грунту, так і наявністю процесів розкладу гідразинових палив на НДМА і ФА, концентрації яких за першу добу після виливу збільшуються в 2 рази. Ступінь розкладу гідразинових палив до ДМА залежить від їх вихідної концентрації і від природи зразка грунту. Із збільшенням концентрації гідразинових палив спостерігається зменшення ступеню їх розкладу, який приймає максимальне значення в поверхневому горизонті, для піску – він на порядок нижче, ніж для поверхневого горизонту.

Крім розкладу, поглинання та окислення спостерігається також випаровування гідразинових палив з поверхні грунту (при концентрації НДМГ 1000 мг/кг з поверхні за добу випаровується 0,3 % палива).

У грунтів відмічається низький ступінь десорбції гідразинових палив. Із глин палива вимиваються в кількості біля 2,7 %, а з піску – біля 30 %. На процес десорбції впливають початкова концентрація гідразинових палив і природа зразка грунту (більш суттєвий вплив другого фактору). Максимальний ступінь десорбції характерний для річкового мулу; для піску і глини – мінімальний, оскільки мінеральні складові піску і глини більш міцно утримують гідразинові палива. Процес десорбції відбувається нерівномірно: 70-85% палив десорбуються першою порцією води, потім процес уповільнюється. Менш міцно утримується ДМА і вилучається при промивці в першу чергу.

Гідразинові палива та їх похідні завдяки своїй високій розчинності і стабільності в грунті мають властивість мігрувати вздовж профілю грунту. Міграційна здатність гідразинових палив (сорбція і глибина проникнення в грунт) зумовлена типом грунту, поглинальною здатністю, водним режимом, кількістю КРП, що надійшов на поверхню. При виливі на підзолистий грунт через два місяці гідразинові палива і продукти їх окислення можуть проникати на глибину 50-70 см. Чим вище концентрація забруднювачів на поверхні, тим на більшу глибину вони мігрують.

В грунті підвищуються концентрації ДМА і ФА, що свідчить про окислення гідразинових палив не тільки на поверхні грунту, а й на різній глибині. Найкращу фільтраційну здатність має пісок; глинисті грунти перешкоджають міграції палив вглиб. Однак, незважаючи на високі сорбційні властивості, глина і суглинок не можуть повністю затримувати вертикальну міграцію таких КРП. Так, при виливі 12 кг несиметричного диметилгідразину на глину через 4 місяці продукт проникає на глибину до 130 см, а через 14 місяців – на 180 см.

Гідразинові палива мають виражену лужну реакцію (pH=12). При їх виливі на рослинний покрив можливі лужні опіки. Уражена рослинність набуває кольору “вареної зелені”, висихаючи, стає коричневою. Проникаючи в листя і стебла, вони здатні зберігатись в них тривалий час (НДМГ може зберігатись в рослинах більше одного року). Гідразинові палива – леткі речовини, тому проникання в рослини може пояснюватись утворенням міцних хімічних зв’язків з компонентами рослинних тканин. Аналогічно накопиченню цих палив в ґрунтах може відбуватись їх накопичення в рослинах за іонно-обмінним механізмом.

Слід відмітити, що гідразинові палива, які містять вуглець та азот, чинять в помірних дозах стимулюючу дію на мікробіоту грунтово-рослинної системи. При помірному вмісті в грунтовому середовищі збільшується середній об’єм клітин і біомаса мікроорганізмів в одиниці об’єму. При достатньо високому рівні забрудненості грунту паливами відбувається деградація клітин мікроорганізмів та інгібування їх життєдіяльності. При концентрації до 1000 мг/кг грунту виявляється стимулюючий ефект на ріст, розвиток, продуктивність рослин; концентрації від 1 до 10 г/кг грунту викликає зниження окремих показників росту і продуктивності, а також збільшення термінів розвитку. При вмісті в грунті забруднювача від 10 до 50 г/кг спостерігається погіршення стану рослин, при 100 г/кг вони гинуть [1].

Стимуляція росту, розвитку, продуктивності рослин під дією гідразинових палив та їх продуктів деструкції пов’язана із змінами на трофічному, гормональному, ферментативному рівнях регуляції рослинного організму. Гідразинові палива і їх похідні в помірних дозах нетоксичні для рослин і супутньої біоти і можуть використовуватись для них, як джерело вуглецю і азоту.

Окислювачі, що містять азот, потрапляючи на ґрунтовий покрив, взаємодіють з присутніми в грунті лугами з утворенням суміші солей азотної та азотистої кислот – нітратів і нітритів, які є достатньо стабільними сполуками.

Перенасичений нітратами і нітритами грунт може бути причиною забруднення підземних і поверхневих вод у зв'язку із змиванням їх з грунту талими і дощовими опадами, основним джерелом підвищеного вмісту нітратів і нітритів в сільськогосподарській продукції і утворення в продуктах сільськогосподарського виробництва диметилнітрозоамінів (в присутності амінів).

При виливах окислювачі, що містять азот, негативно впливають на мікрофлору грунту, гідробіонти, викликаючи їх загибель.

Вуглеводневі палива (ВВП) при надходженні на поверхню грунту також включаються в цикл фізичних, хімічних і фізико-хімічних перетворень, зумовлених процесами міграції і трансформації забруднювача в різних природних середовищах.

Вони стабільні в грунті і зберігаються тривалий час (1-2 роки).

Основним засобом переносу ВВП з грунту є повітряні маси (випаровування і вивітрювання), грунтові і поверхневі води. Інтенсивно випаровуючись перші години після виливу, молекули вуглеводнів надходять в приземний шар атмосфери і розносяться вітром або накопичуються в повітряному шарі. Їх подальше поширення здійснюється за механізмом дифузії. Однак низькі температури повітря, велика кількість опадів і значна обводненість території можуть перешкоджати випаровуванню ВВП з поверхні виливів. В перший рік після виливу ВВП на грунт спостерігається швидке зменшення концентрації палива, що пояснюється механічним вимиванням ВВП водою за межі площі виливу з подальшим розведенням на шляхах руху водних потоків, хімічною взаємодією із складовими грунту, адсорбцією ґрунтами і мікробіологічною трансформацією.

Шляхами поширення забруднення на грунті є горизонтальне розтікання і вертикальна міграція вздовж профілю. Закономірності горизонтального розтікання нафтопродуктів зумовлені їх початковою концентрацією, особливостями клімату, ландшафту, властивостями грунтів. Наприклад, велика кількість опадів сприяє

промиванню грунту, рівнинний характер місцевості ускладнює стік надлишкової вологи, що призводить до накопичення забруднення.

При утворенні виливів ВВП в зимовий період відбувається його консервація в снігу з подальшим розмиванням між природними середовищами при повені.

Концентрація ВВП помітно зменшується в міру віддалення від центра плями. Розміри і форми вторинної плями залежать від геохімічного стоку і кута нахилу поверхні. Так, при уклоні до 10° вміст ВВП зменшується з відстанню за лінійним законом, а пляма має круглу форму; при більшому уклоні пляма приймає форму еліпса.

У випадку вертикальної міграції на глибину проникнення забруднення найбільш сильно впливають сорбційні, фізико-хімічні, водно-фізичні, фільтраційні властивості ґрунтових порід, мінералогічний склад, інтенсивність процесів розведення ґрунтовими водами, кількість вуглеводнів, які потрапили на грунт. Основна кількість нафтопродуктів зосереджується в верхньому горизонті; нижче їх вміст зменшується майже на порядок. Максимальне накопичення в поверхневих шарах пов’язане з тим, що гумусовий горизонт, що містить найбільшу кількість органічних речовин, має більш високу сорбційну здатність. Швидкість і глибина проникнення ВВП вглиб грунту, міцність зв’язування ґрунтовими частками, протікання хімічних реакцій визначаються властивостями поглинаючого комплексу грунту. При просочуванні ВВП в нижню частину профілю утворюється достатньо стійка зона забруднення, яка чинить несприятливу тривалу дію на грунтові і поверхневі води. Міграція вздовж профілю відбувається як низхідними, так і висхідними потоками вологи. Тривалому зберіганню ВВП в глибинних шарах грунту сприяє наявність вічномерзлотних дільниць.

Основна маса ВВП в грунті втрачається через три місяці після попадання в грунт. В подальшому швидкість зміни вмісту ВВП в грунті помітно зменшується, особливо при досягненні концентрацій в грунті 1-1,5 %. Максимальна кількість полютанта в перші роки буде міститись в поверхневому 20-сантиметровому шарі; через кілька десятиліть верхні шари збережуть лише залишки забруднення. Наприклад, через кілька днів після виливу в середній тайзі біля 16 % ВВП витрачається на випаровування і розсіювання

за межі плями. Через два тижні в грунті залишається 30-40 % ВВП, а через рік – лише 10 %.

При надходженні ВВП в грунт починаються процеси їх природного фракціонування і розкладу паралельно із зменшенням концентрації за рахунок міграції. ВВП на поверхні піддається хімічному і біологічному окисленню під дією атмосферного кисню, ультрафіолетового випромінювання і мікроорганізмів, яке супроводжується зміною його початкового складу. Переважання тих чи інших процесів перетворення нафтопродуктів в ґрунтах суттєво залежить від виду мікробіоти та інтенсивності її дії, складу і концентрації ВВП, температурного і водного режимів грунту, властивостей і складу грунтів, кислотності середовища, наявності мікроелементів і мінеральних окислювачів (азоту, фосфору, вільного кисню), рослин певного виду. Головну роль в процесах трансформації ВВП грає біодеградація. Мікроорганізми здійснюють внутріклітинне окислення ВВП, використовуючи їх як джерело вуглецю та енергії. При цьому відбувається розщеплення ВВП до низькомолекулярних речовин, які піддаються хімічним змінам. Мікробіологічна діяльність окислюючих бактерій зумовлює часткову мінералізацію ВВП, утворення нерозчинних в органічних розчинниках продуктів метаболізму вуглеводнів. При кількості ВВП в грунті 0,7 мл/кг всі мікробіологічні показники стабільні. Загальна біомаса організмів може збільшуватись, що свідчить про стимулюючу дію низьких концентрацій ВВП на мікробіологічні процеси в грунті. При концентрації ВВП в грунті від 0,7 до 50 мл/кг порушується склад мікробного угрупування. При концентрації ВВП від 50 до 300 мл/кг різко знижується видове різноманіття і змінюється склад угрупування, оскільки активно розвиваються мікроорганізми, стійкі до високих концентрацій нафти. При цьому інтенсивність деградації ВВП досягає максимальних значень за рахунок якісної зміни мікробіологічних процесів в грунті. Концентрація ВВП понад 300 мл/кг викликає майже повне пригнічення росту і розвитку мікроорганізмів.

Швидкість зниження вмісту ВВП в грунті найбільш висока в весняні та літні місяці, тобто в період максимальної біологічної активності мікрофлори, найбільш високих температур і активності сонячної радіації.

За літній період можлива повна мінералізація біля 20 % внесених в грунт ВВП і перехід 30 % в нерозчинні органічні сполуки. При цьому компоненти, що залишились в грунті. збагачуються смолистими речовинами. На швидкість трансформації ВВП суттєво впливають склад і будова грунту, особливо кількість органіки. Максимальна здатність до біорозкладу спостерігається у торфу, який містить велику кількість органічних речовин, мінімальна – для піщаних грунтів.

Забруднення грунту ВВП призводить до значних фізико-хімічних перетворень – зміни мікроелементного складу грунту, його повітряного та окислювально-відновного режимів. Потрапляючи в грунт, ВВП приносять з собою різноманітний набір хімічних сполук, порушуючи усталений геохімічний баланс в екосистемах. Надлишок ВВП, що надійшли в грунт, порушує нормальне співвідношення вуглецю і азоту, приводить до дефіциту кисню, азоту, рухомого фосфору та обмінного калію, тобто погіршує агрохімічні властивості.

Відомо, що в південних районах всі процеси розкладу ВВП проходять інтенсивніше, ніж в умовах суворого клімату в північних районах, які являють собою моделі екосистем з низькими можливостями самоочищення грунтів. Активній деструкції ВВП сприяють вологість і підвищені значення pH середовища.

Приблизно через рік процес розкладу ВВП гальмується в будь-якій кліматичній зоні і подальша деградація проходить дуже повільно. Для повної природної переробки вуглеводневих компонентів в умовах середніх широт потрібно не менше 10-20 років.

4.2. Механічне забруднення грунтів

Падіння частин РН, що відділяються, супроводжується механічним забрудненням ґрунтового покриву в районах падіння. В момент зіткнення частин, що відділяються, з поверхнею землі, швидкість ступеню складає біля 60-80 м/с (215-220 км/год). Утворюються різних розмірів воронки, пошкоджуються грунтово-рослинні покриви (особливо сильно пошкоджується гумусовий шар грунту).

При падінні в РП частин РН, що відділяються, можуть руйнуватись паливні баки і трубопроводи. В залежності від кількості залишків КРП цей процес може супроводжуватись виливом КРП на грунт і їх займанням.

В перші роки після початку регулярних космічних запусків частини РН, що відділяються (ракетні блоки, хвостові відсіки, головні обтічники) в РП підривались з метою їх дефрагментації; металічні фрагменти закопувались у землю. Компоненти ракетних палив випалювались. Вважалось, що такий комплекс заходів достатній для ліквідації негативних наслідків пуску РН в районі падіння частин, що відділяються. Однак останнім часом влада регіонів, де розташовані райони падіння частин РН, стали висувати претензії щодо нанесення збитків навколишньому природному середовищу. В зв'язку з цим прийнято рішення про збирання фрагментів частин, що відділяються, в РП. Були створені спеціальні команди для виконання цих робіт.

Маси конструкцій частин, що відділяються, російських РН наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Маси конструкцій частин[1], що відділяються, російських РН, кг

«Космос-3М»	1 ст. 2 ст.	5304 1434
«Циклон-2»	1 ст. 2 ст. ГО	6290 3300 640
«Циклон-3»	1 ст. 2 ст. 3 ст. ГО	6270 3450 1360 850
«Союз-У»[2]	1 ст. 2 ст. 3 ст. ГО	15200 6550 2000÷2150 990÷2675
«Русь»[2]	1 ст. 2 ст. 3 ст. ГО	15200 6525 2597 1370
«Зеніт»	1 ст.	27970

Закінчення табл..4.4

	2 ст. ГО	8330 2470
«Старт-1»	1 ст. 2 ст. 3 ст. 4 ст. ГО	2322 980 445 155 122
«Рокот»	1 ст. 2 ст. ГО	5420 1255 750
«Протон»	1 ст. 2 ст. 3 ст. ГО	31000 11750 4160 1300÷2500
«Протон-М»	1 ст. 2 ст. 3 ст. ГО	30374 11336 3939 3500
«Молния»[2]	1 ст. 2 ст. 3 ст. 4 ст. ГО	15080 6800 1580 1195 800

[1] Як сухі маси частин РН, що відділяються, наведені їх проектні наближені значення. Фактично сухі маси можуть відрізнятися не більш ніж на 2%. При цьому на РН можуть використовуватися ГО різноманітних типів (різноманітних мас).

[2] Перший ступінь РН «Союз-У», «Русь» і «Молния» складається з чотирьох ідентичних блоків. В таблиці наведені сумарні значення.

На початку 90-х років в ряді дослідно-конструкторських робіт вирішувалась задача створення спеціалізованого комплексу технічних засобів евакуації та утилізації частин, що відділяються, нейтралізації виливів компонентів палива та пожежогасіння в РП. В результаті проведених досліджень запропоновані і відпрацьовані екологічно безпечні

технології розбирання, детоксикації та утилізації фрагментів частин РН, що відділяються.

При розбиранні частин РН, що відділяються, на фрагменти знімаються прилади та елементи РН, які містять дорогоцінні метали для подальшої переробки. Так, тільки на протязі 1992-1994 рр. зібрано і вивезено із РП частин РН біля 6200 т металофрагментів. Вивезення металоконструкцій достатньо складна технічна проблема через відсутність доріг, а також через недопустимість вторинної дії (в процесі вирішення проблеми очистки районів падіння частин РН) на природне середовище в зонах розміщення РП частин, що відділяються. Вирішення проблеми можливе нетрадиційними способами – застосуванням авіаційних або аеростатичних засобів транспортування.

4.3. Забруднення поверхневих і ґрунтових вод

При попаданні **гідразинових палив** в воду під впливом природних факторів навколишнього середовища (сонячна радіація, присутність хімічно активних домішок тощо) відбувається їх окислення киснем, що міститься в воді. Крім того, гідразинові палива розкладаються з утворенням сполук, які добре ідентифікуються.

Найбільш активно проходить процес окислення в перші 5-7 діб, в результаті чого збільшуються концентрації ДМА і ФА. Цей процес продовжується практично до повного окислення КРП. На процес окислення гідразинових палив суттєво впливає його початкова концентрація – швидкість окислення зменшується із збільшенням концентрації гідразинових палив. В воді продукти окислення і розкладу гідразинових палив піддаються подальшому хімічному та біохімічному окисленню.

Кількісною характеристикою стабільності гідразинових палив є час, на протязі якого розкладається 50 % вихідної його концентрації в літніх і зимових умовах (табл.4.5). Найбільш стабільні НДМА, НДМГ, ТМТ; менш стабільні – ДМА і ФА. Стабільність перших трьох сполук в зимових умовах зростає в 10-15 разів.

Найбільший вплив на сорбцію гідразинових палив і їх похідних здійснює склад води, зокрема іони кальцію Ca^{2+}, –

чим вищий їх вміст у воді, тим менше поглинаються ґрунтом гідразинові палива та їх похідні. Із збільшенням вмісту гідразинових палив у воді збільшується ступінь їх поглинання ґрунтами.

Таблиця 4.5

Стабільність водних розчинів НДМГ і їх похідних з концентраціями 1-10 мг/л в умовах, характерних для літнього і зимового режимів водойми

Речовина	Час напіврозпаду, діб	Константи швидкостей перетворення речовин у воді, 1/добу	
		літні умови	зимові умови
ФА	1-2	0,345	0,345
ДМА	> 2	0,153	0,076
ТМТ	> 5	0,138	0,011
НДМГ	> 6	0,115	0,007
НДМА	> 16	0,046	0,004

Окислювачі, що містять азот, крім самої азотної кислоти, розчиняючись у воді, вступають з нею в реакцію і утворюють азотну HNO_3 і азотисту HNO_2 кислоти. Через свою нестабільність азотиста кислота розкладається, утворюючи також азотну кислоту:

$$3HNO_2 \rightarrow HNO_3 + 2NO + H_2O$$

Азотна і азотиста кислоти взаємодіють з органічними і неорганічними речовинами, утворюючи нітро- і нітрозосполуки. Крім того, ці кислоти та їх солі дисоціюють з утворенням нітрат- і нітрит-іонів.

Дія нітратів і нітритів на гідробіонти проявляється в порушенні кровообігу – транспортуванні кисню до життєво важливих органів. Інший негативний вплив нітратів і нітритів на гідробіонти виявляється в тому, що підвищені їх концентрації в воді водойм стимулюють розвиток водної рослинності і планктону; надлишок водної рослинності на стадії, коли починається гниття загиблих рослин, призводить до нестатку розчиненого в воді кисню, що згубно впливає на гідробіонти. В незабруднених природних водах концентрація нітрат-іонів не перевищує 0,2 мг/л.

Забруднення води у водоймах азотною кислотою шкідливе для риб. Смертельна концентрація HNO_3 для райдужної форелі через 96 годин складає 0,39-1,9 мг/л, для молоді форелі через 8 діб – 0,14-0,15 мг/л.

При попаданні в воду **вуглеводневих палив** (ВВП) з концентрацією понад 0,1 мг/л різко змінюються органолептичні характеристики, насамперед, в воді з'являється різкий специфічний запах.

Всі ВВП, крім того, негативно впливають на процеси природного самоочищення водойм і грунтів, викликаючи збільшення біохімічного споживання кисню і гальмування процесів нітрифікації.

Порогова концентрація в воді за органолептичним показником, наприклад, для Т-1 – 0,03 мг/л, концентрація Т-1 до 25 мг/л не уповільнює процес біохімічного споживання кисню.

ВВП хімічно стійкі у воді. ВВП в розчині з вихідною концентрацією 1-10 мг/л в холодній воді стабільні на протязі місяця. Літом при рості температури поверхневих вод за три доби спостерігається зниження концентрації ВВП на 60-90%. При низьких концентраціях (до 20 мг/л) спостерігається біодеструкція (особливо після періоду адаптації). З ростом концентрації ВВП стабільність підвищується, причому стабільність залежить від лужно-кислотних і окислювально-відновних параметрів вод, в яких проходить його деструкція. Наприклад, в озерних або слабо проточних водах з пониженим вмістом розчиненого кисню і низьким pH стабільність ВВП знижується.

Забруднення річок і озер ВВП надто згубно відбивається на рибному господарстві. Крім прямої токсичної дії на риб ВВП знищують нерестилища і нагульні угіддя, перешкоджають природній аерації і порушують нормальні біологічні процеси водойми. ВВП не тільки забруднюють поверхню води, але й поширюються на всю глибину, осідають разом з мулом на дно, водойми можуть позбутися рибогосподарської цінності на невизначено тривалий час. ВВП псують якість рибної продукції. Наявність у водоймі нафти в кількості 0,1 мг/л надає м'ясу риб

неусувний при обробці присмак і запах. Навіть в малих кількостях ВВП шкідливі для гідробіонтів.

При сукупній дії на воду ВВП і гідразинових палив стабільність останніх зростає за рахунок розчинення гідразинових палив в вуглеводневих паливах.

Вуглеводнева плівка, яка утворюється на поверхні забруднених водойм, порушує процес природної аерації води, що спричинює кисневе голодання гідробіонтів. При концентраціях ВВП у воді понад 0,1 мг/л гине планктон. Концентрації понад 50 мг/л викликають загибель риби. В водоймах забруднених ВВП, проходять процеси їх самоочищення, засновані на життєдіяльності водних мікроорганізмів, які окислюють вуглеводневі забруднення до вуглекислого газу і води. Швидкість процесу самоочищення забруднених водних об'єктів залежить від їх температури. При температурі нижче +5˚С самоочищення водойм практично припиняється. При температурі 20˚С за 5-7 діб вміст емульгованих вуглеводнів знижується на 40% .

4.4. Визначення потенційної екологічної стійкості природних комплексів космодромів

Екологічна стійкість – це властивість природного територіального комплексу (ПТК) зберігати динаміку природного розвитку в умовах техногенних дій. Потенційною екологічною стійкістю називається стійкість ПТК, яка визначається за певними прямими або посередніми ознаками, без врахування конкретної техногенної дії.

Прикладне значення порівняльного аналізу потенційної екологічної стійкості природних комплексів космодромів полягає в отриманні інформації для раціонального розподілення екологічного навантаження. Космодроми з меншою екологічною стійкістю повинні підлягати меншому навантаженню.

Порівняння потенційної екологічної стійкості ПТК космодромів необхідно здійснювати на основі методів стохастичної кваліметрії (лат. "qualis" – який за якістю) [1] за рядом ознак, наведених в табл.4.6.

Перераховані в таблиці 4.6 ознаки універсальні по відношенню до різних типів забруднень. Однак вони недостатньо характеризують деякі

типи техногенних дій на ПТК, наприклад, механічні дії на ландшафти, геологічне середовище.

Таблиця 4.6

Часткові ознаки, що характеризують екологічну стійкість ПТК

ова ознака порівняння	Позна-чення	Характеристика впливів на екологічну стійкість
я питома рослинності	x_1	ищенням питомої біомаси рослинності потенційна здатність ПТК протистояти нним навантаженням за рахунок ну несприйнятливості до несприятливих чних факторів
я питома дуктивність ної біомаси	x_2	вищенням питомої біопродуктивності ності зростає потенційна здатність ПТК гояти техногенному навантаженню за к збільшення потенціалу самоочищення
мальний перепад атур повітря мальний д кількості опадів	x_3 x_4	максимальні перепади річних атур повітря кількості опадів, що мають ПТК, непрямо свідчить про широкий н несприйнятливості природного ксу до несприятливих екологічних ів
ний річний річковий ьорічна швидкість	x_5 x_6	ище сумарний річний річковий стік і ьорічна швидкість вітру, тим вище іал самоочищення ПТК за рахунок реного виносу забруднювачів за межі ного комплексу
оза ультрафіолетової ї ть діб в році з и	x_7 x_8	більша річна доза ультрафіолетової ї і чим частіше мають місце грози, тим потенціал самоочищення ПТК за к розкладу органічних атмосферних к під дією УФ- випромінювання, реного окислення продуктів техногенеза их грози і вимивання їх дощем

Існують важливі ознаки, які характеризують, наприклад, стійкість до забруднення або закислення грунтів. Серед них форми ландшафтно-геохімічних систем (лінійні, концентрації, розсіювання), належність їх до замкнутих або відкритих систем, швидкості розкладу органічних решток, що надходять на поверхню грунту, реакція і окислювально-відновні умови в ґрунтах тощо. Однак, по-перше, ці ознаки не завжди можна визначити кількісно; по-друге, іноді одна і та ж ознака в різних природно-географічних умовах може діяти по-різному: в одних випадках підвищувати екологічну стійкість, а в інших – знижувати. Так, при пусках РН, роботі котельних і ТЕЦ можливе утворення і випадіння кислотних опадів. Вони безумовно шкідливі в умовах одного космодрому, наприклад, Плєсецька або Східного випробувального полігону США, де від опадів постраждають природні комплекси, що сформувались на підзолистих ґрунтах з широким поширенням дерново-підзолистих, підзолисто-болотних, торф'яно-глеєвих і заплавних грунтів [17]. З другого боку, на напівпустельні і пустельні ландшафти космодромів типу Байконур і Чанчинцзе кислотні викиди можуть здійснювати позитивний вплив, збільшуючи рухливість катіоногенних елементів, необхідних рослинам в ґрунтах із слаболужною реакцією pH, і одночасно сприяючи розсолонцюванню солонців.

Методика порівняння потенційної екологічної стійкості ПТК космодромів основана на побудові лінійної згортки комплексного (зведеного) показника порівняння $\widetilde{Q}_i$. При побудові згортки використовуються номінальні кількісні значення певних ознак стійкості ПТК x (табл.4.6), розкид вказаних значень (x_i^{min}, x_i^{max}), ординальна інформація про них, що враховує відносну значимість ознак, а також вид закону розподілення значень вагових коефіцієнтів $\widetilde{C}_j$ в згортці:

$$\widetilde{Q}_i(x_i) = \sum_{j=1}^{k} \widetilde{C}_j f_j(x_i), \qquad (4.1)$$

де $f_j(x_i)$ – нормалізуючі лінійні незростаючі функції від часткових показників ранжування x_i:

$$f_j(x_i) = \begin{cases} 1, x_i > x_i^{min}, \\ \dfrac{x_i^{max} - x_i}{x_i^{max} - x_i^{min}}, x_i^{min} < x_i < x_i^{max}, \\ 0, x_i < x_i^{max}, \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\widetilde{C} = (\widetilde{C}_1, ..., \widetilde{C}_7), \quad C \in W, \quad W \subset E^m, \quad (4.3)$$

де W – (m-1)-мірний симплекс: $C_i \le 1, \ \sum_{i=1}^{k} C_i = 1.$

Ординальна (лат. “ordinalis” – порядковий) інформація за частковими ознаками, наведеними в таблиці 4.6, задавалась у вигляді:

$$x_1=x_2>x_5=x_6>x_7=x_8>x_3=x_4, \quad (4.4)$$

де знак “>” означає відношення переваги.

Смисл ординального виразу (4.4) в наступному. Найбільш важливими екосистемними показниками для забезпечення екологічної стійкості ПТК космодрому є середні значення питомої біомаси і питомої біопродуктивності рослинності, які, в основному, визначають потенціал самоочищення і діапазон несприйнятливості ПТК до техногенних дій. Тому найвищу екологічну стійкість мають лісові ПТК. Однак в степових, напівпустельних і пустельних ПТК (космодроми Байконур, Сичан) екологічна стійкість визначається здатністю самоочищення за рахунок річкового стоку, вітрових перенесень, ультрафіолетової радіації Сонця і грозових дощів. Виходячи з цих міркувань, далі ординальний ряд в міру зменшення значущості часткових показників будується таким чином: “Сумарний річний річковий стік” та “ Середньорічна швидкість вітру”, “Річна доза ультрафіолетової радіації” і “Кількість днів за рік з грозами”. Максимальні, за результатами спостережень, перепади температур повітря і кількості опадів, що посередньо визначають діапазон несприйнятливості ПТК до техногенних дій, прийнято рівнозначними. Приблизні номінальні значення часткових ознак для деяких полігонів подані в табл. 4.7.

Результати попереднього (якісного) порівняння екологічної стійкості космодромів Росії і Казахстану свідчать, що найбільш екологічно стійким є ПТК космодрому Свободний (відносна екологічна стійкість складає

приблизно 0,75); найменш екологічно стійкі є ПТК космодромів Плєсецьк (0,54) і Байконур (0,4).

Таблиця 4.7

Номінальні значення часткових ознак порівняння

	Космодром		
	Плесецьк	Свободний	Байконур
	1000	2250	25
рік	50	100	25
	80	88	90
	580	400	100
рік	13,6	4,42	10,1
	3,4	4,8	5,4
од/м^2	100	400	800
/рік	10	30	5

Екологічну стійкість ПТК космодрому Свободний визначають, в основному, високі показники біомаси і біопродуктивності. Однак в порівнянні з районами розташування космодромів Плєсецьк і Байконур слід відмітити більш низький річний річковий стік ПТК Свободний.

Раніше територія космодрому Свободний піддавалась інтенсивному лісогосподарському освоєнню та сільсько-господарчим діям (понад 80% площі космодрому). Однак завдяки високому потенціалу екологічної стійкості ПТК на території космодрому після різноманітних стадій сукцесійних змін нині відмічаються тенденції щодо відновлення корінної рослинності.

В порівнянні з космодромом Свободний територія космодрому Плєсецьк раніше піддавалась значно меншому лісогосподарському освоєнню. Космічна діяльність суттєвого негативного впливу на ПТК не здійснювала. На території космодрому збереглись значні дільниці незайманої тайги, на старих вирубках іде процес її відновлення; тваринний світ характеризується великою різноманітністю.

На космодромі Байконур внаслідок слабкого рослинного покриву, який є основним фактором підтримки екологічної стійкості, стійкість ПТК району розташування космодрому теоретично визначається, в основному,

здатністю самоочищення за рахунок річкового стоку Сир-Дар'ї, вітрових перенесень та ультрафіолетової радіації Сонця.

Виконані оцінки, з одного боку, показали дієздатність викладеної методики визначення екологічної стійкості ПТК, з іншого – виявили ряд труднощів при проведенні таких оцінок. До таких труднощів відноситься вибір значень часткових ознак x_i, а також виду закону розподілення вагових коефіцієнтів, які повинні визначатись на основі реальних досліджень ПТК. Інша важлива проблема полягає в тому, що стійкість ПТК може знижуватись як в результаті дії природних факторів, так і завдяки антропогенній діяльності на інших ПТК, близько розміщених або навіть далеко-розташованих від оцінюваного ПТК. Яскравим прикладом впливу такого явища є космодром Байконур, стійкість якого визначається крім всього і річковим стоком Сир-Дар'ї. Інтенсивне використання річки на всій її довжині в інтересах сільського господарства призвело до екологічної катастрофи ПТК Аральського моря, що, безумовно, вплинуло і на екологічну стійкість ПТК космодрому.

В цілому проблема оцінки екологічної стійкості ПТК космодромів безумовно вимагає подальших досліджень.

4.5. Радіоактивне забруднення грунту

Кінцевим результатом практично будь-якої аварійної ситуації з викидом радіоактивного палива в навколишнє середовище є радіоактивне забруднення місцевості (грунту, поверхневих вод, приземної атмосфери). Потенційна небезпека такого забруднення визначається двома основними причинами:

1) прямим опроміненням людини від зовнішнього джерела (зовнішнє опромінення);

2) внутрішнім опроміненням при попаданні радіоактивних речовин в організм людини в результаті вдихання або через харчові ланцюги.

Характер радіаційної небезпеки залежить від фізичних і радіобіологічних характеристик ядерних палив (табл. 4.8.).

Таблиця 4.8

Фізичні і радіобіологічні характеристики ядерних палив

Характеристики	Уран-235	лутоній-238
напіврозпаду, рік	$7{,}1 \cdot 10^8$	88

зпаду	α, γ	α, γ
і опромінення,	4,76(α); 0,185(γ, 55%) 0,43(γ, 12%)	5(α); 0,01(γ) 0,044(γ)
а активність, Кі/кг	$2,1\cdot10^{-3}$	$1,7\cdot10^{-4}$
има концентрація, Кі/л		
сфері	$2\cdot10^{-16}$	$3,3\cdot10^{-17}$
	$2,3\cdot10^{-9}$	$1\cdot10^{-10}$
има густина нення, розп/хв.·см^2	<50	<50
ні органи	кістки,	стки, легені

Уран-235 і плутоній-238 є, в основному, альфа-випромінювачі з незначним виходом м'якого гамма-випромінювання. Споряджені цим паливом ЯР або РІГ в штатних режимах наземної експлуатації (зберігання, технічне обслуговування, транспортування) шкідливої чи небезпечної радіаційної дії на НПС не виявляють.

При руйнуванні ЯЕУ з викидом радіоактивного палива в навколишнє середовище основну небезпеку для людей становить внутрішнє опромінювання альфа-частками, оскільки їх енергія повністю поглинається в критичних органах (довжина пробігу часток в біологічній тканині біля трьох-пятьох десятків мікрометрів). В окремих випадках слід враховувати також гамма-випромінювання.

Внаслідок значно більшої в порівнянні з ураном питомої активності плутонію, а також більш сильної дії на критичний орган попадання цього радіонукліда в біосферу особливе небезпечне.

Аварія ЯЕУ і виникнення радіаційної небезпеки можливі при таких операціях:

1) транспортування ЯЕУ;
2) знаходження на стартовій площадці;
3) запуск, виведення на задану орбіту;
4) завершення штатного функціонування, виведення на орбіту захоронення або повернення в атмосферу.

Перевезення ядерних матеріалів з дотриманням всіх норм радіаційної безпеки являє собою самостійну проблему. Правила їх перевезення регламентуються відповідними нормативними документами.

Транспортування ядерних матеріалів може виконуватись автомобільним, залізничним та авіаційним транспортом. Установка перевозиться в спеціальному транспортному контейнері, конструкція якого повинна виключати вихід ядерного палива в навколишнє середовище при дії будь-якого зовнішнього фактора. Щоб запобігти опроміненню персоналу при перевозі і обслуговуванні, ядерний реактор перевозиться не в спорядженому виді. Його збирання відбувається на стартовій площадці, що дозволяє виключити можливість випадкового досягнення реактором критичного або підкритичного стану в будь-якій аварійній ситуації.

Вірогідність аварії при транспортуванні характеризується даними табл.4.9.

Таблиця 4.9

Вірогідність аварії при транспортуванні ядерних матеріалів на відстань до 1600 км

Транспортний засіб	Вірогідність аварії	
	невеликої	значної
ківка	1/230	/115000
ний поїзд	1/3300	1/82000
	1/5550	1/42000

Аварії вантажного транспорту можуть призвести до механічних пошкоджень, вибухів і пожеж. При зустрічному ударі ефективна швидкість зіткнення може досягати 60 м/с (понад 200 км/год), а ударне навантаження перевищує 3g, що не є небезпечним для ЯЕУ, розрахованої на значно більші навантаження.

Кількість бензину в баках вантажівки (до 400 л) надто мала, щоб створити серйозну небезпеку за тепловими навантаженням при пожежі або вибуху, оскільки космічна ЯЕУ повинна залишатись неушкодженою при більш високих температурах (наприклад, при вибухах ракетного палива на стартовій площадці).

Аварії на залізничному транспорті звичайно менш небезпечні, ніж автомобільні. При горінні авіаційного палива може виділитись біля 10^{11} Дж тепла, а температура на протязі 30 хвилин підніметься до 1200˚С. Таке полум’я здатне сильно пошкодити оболонку ЯЕУ. При падінні з великої висоти в результаті вибуху літака максимальна швидкість може досягати 100-120 м/с у випадку удару об твердий скельний грунт.

Удар спорядженого ЯР об грунт при падінні із значної висоти може викликати зміну геометрії його активної зони (стиснення або розширення тепловиділяючих елементів – твелів). Якщо при цьому не змінюється критичність ЯР за рахунок переміщення стержнів аварійного захисту, може виникнути локальна зона радіоактивного забруднення грунту в районі падіння ЯР за рахунок розпилювання палива при ударі. Те ж саме може відбутися при падінні або ударі РІГ і збиранні твелів.

Таким чином, найбільш серйозні для навколишнього середовища транспортно-аварійні ситуації з ЯЕУ можуть виникати в результаті авіаційних катастроф. Тому бажано уникати повітряного транспортування ЯЕУ.

Аналогічні за фізичною природою зовнішні навантаження можуть виникнути під час запуску КА з ЯЕУ, підйому і виходу на задану траєкторію.

Теплові навантаження можуть бути зумовлені спалахом ракетного палива, детонацією або вибухом. Найбільш важкі умови виникають в момент старту, оскільки згодом двигуни інтенсивно витрачають ракетне паливо. Однак ці навантаження на два-три порядки слабкіші, ніж ті, які виникають при аеродинамічному нагріванні на великих висотах в атмосфері.

Механічні навантаження виникають при падінні ЯЕУ з висоти і ударі об грунт з максимальною швидкістю до 100 м/с.

Радіоактивне забруднення при радіаційних катастрофах або аваріях на старті зумовлено двома основними принципами:

1) падіння з висоти – удар об грунт може призвести до механічного руйнування ЯЕУ, розкиду неопромінених крупних фрагментів в районі падіння або вибуху;

2) дія високих температур може призвести до пошкодження оболонки, згоряння частини палива, утворенню хмари радіоактивних аерозолів і поширення його зі швидкістю і за напрямками приземного вітру.

При аваріях на великих висотах, поверненні з орбіти, вході в атмосферу радіоактивне забруднення грунту виникає в результаті аеродинамічного нагрівання конструкції, згоряння радіоактивного палива і випадіння на землю його аерозолів, що при цьому утворюються.

При падінні і ударі об грунт у випадку руйнування ЯЕУ розпилювання ядерного палива проходить, можливо, в два етапи:

1) початкове дроблення при ударі, розкид фрагментів палива, утворення внаслідок цього радіоактивного забруднення грунту в районі падіння;

2) подальше диспергування роздробленого палива в результаті горіння (окислення) часток урану або плутонію, в результаті їх розльоту в середовищі, що містить кисень.

Період запуску двигунів РН характеризується потужними турбулентними потоками газів, що виходять із двигунів. Тому частки ядерного палива будуть переміщуватись з частками грунту і продуктами згоряння ракетного палива, осідаючи на площі, яка значно перевищує площу стартового комплексу.

Емпіричні залежності, що описують характер радіоактивного забруднення місцевості в районі падіння, мають надто складний вигляд. Вони отримані для аналогічних випадків з ядерними боєприпасами, але з деякими припущеннями можуть бути використані для опису ситуації, що розглядається.

Якщо удар відбувається біля поверхні землі, а зона забруднення має форму круга, то в залежності від місцевих метеоумов і значення викинутої активності радіус зони може становити 25-100 м. Значення радіусів зони забруднень обмежується із умови неперевищення допустимої дози випромінювання для α-часток.

Переміщення радіоактивної аерозольної хмари в атмосфері описується дифузійним рівнянням Сеттона [18], яке дозволяє визначити концентрацію домішки в залежності від координат джерела викидів, активності джерела і метеоумов. В табл.4.10 наведені результати розрахунку радіоактивної домішки вздовж центральної осі зони забруднення біля поверхні землі при наступних вихідних даних: маса урану-235 – 30 кг, в радіоактивну хмару переходить не більше 20 % активності, швидкість приземного вітру 3 м/с, висота підйому хмари не більше 50 м.

Таблиця 4.10

Концентрація радіоактивної домішки біля поверхні землі

R, м	0	0	0	0	00	00	000
Концентрація, Кі/л	0^{-13}	0^{-13}	0^{-11}	0^{-11}	0^{-12}	0^{-12}	0^{-13}

Ширина зони забруднення звичайно визначається границею 10-кратного зниження концентрацій.

Результати розрахунків показують, що при найбільш несприятливих умовах зона забруднень, що формується, може розповсюджуватись за напрямком вітру до 10-30 км і мати максимальну ширину до 1-2,5 км. Слід відмітити, що розрахункова схема має ідеалізований характер, описуючи найгірші умови забруднення, оскільки поведінка хмари визначається характером місцевих метеоумов, рельєфом, наявністю опадів. Опади призводять до швидкого вимивання радіоактивної домішки із хмари і скорочення протяжності зони забруднень. Однак на грунті при цьому утворюються локальні “плями” з підвищеним рівнем забруднення. Природний радіоактивний розпад практично не впливає на зміну рівня забруднення з часом внаслідок великих періодів напіврозпаду радіоактивних палив.

Зміна хмари з часом в ідеальних умовах визначається швидкістю осадження аерозолів на поверхню землі і швидкістю приземного вітру. Швидкість осадження аерозолів біля поверхні землі складає ~10^{-3}-10^{-1} см/с для діаметрів часток ~1-10 мкм і 1,2-2,5 см/с для 20-100 мкм. Найбільш вірогідні швидкості падіння в інтервалі 0,1-1 см/с. Тоді швидкість формування радіоактивного забруднення грунту буде залежати від висоти хмари, і, наприклад, для висоти 50 м, при швидкості осадження 1см/с, час осадження буде складати $5\cdot10^3$ с, тобто приблизно через 1,5 години зона забруднення грунту формується. Відстань, пройдена часткою за цей час, може бути визначена множенням часу осадження на швидкість вітру так, при швидкості вітру 3 м/с перенесення хмари складає 15 км, тобто зона забруднення утворюється на деякій відстані від місця викиду радіоактивних продуктів.

Таким чином, радіоактивне забруднення грунту при механічному руйнування ЯЕУ становить в локальному районі серйозну екологічну небезпеку.

Низькоорбітальні КА з ЯЕУ можуть через різні причини припиняти своє нормальне функціонування. При цьому можливе непередбачене входження в атмосферу. Таке входження найбільш вірогідне під час первинного запуску на робочу орбіту або під час виведення на орбіту постійного захоронення. При цьому переважаюча небезпека (95% загального ризику) пов’язана із другою ситуацією.

У випадку нештатного повернення ЯЕУ в атмосферу додаткова система радіаційної безпеки (ДСРБ) повинна забезпечувати диспергування

установки, повне згоряння ядерного палива і його розпилювання на великих висотах.

Більша частина (біля 70%) дисперсних часток ядерного палива осідає на землю в середніх широтах між 30° і 60° північної і південної широт на площі біля $9{,}5\cdot10^{13}$ м^2. Максимальні концентрації радіоактивних забруднювачів в повітрі і на землі спостерігаються приблизно через три місяці після початку випадінь. Потенціальну небезпеку становлять радіонукліди – стронцій-90 та цезій-137, серед всіх продуктів ділення вони мають найбільший період напіврозпаду (28 і 30 років відповідно). Результати розрахунків для теплової потужності ЯР в 150 кВт і тривалості роботи 360 днів наведені на рис. 4.1.

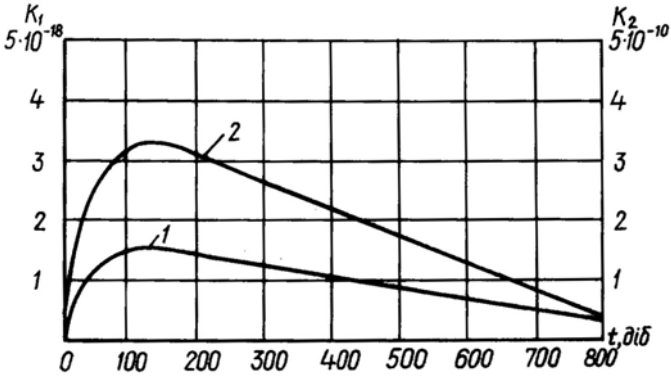


Рис.4.1. Концентрація радіонуклідів в повітрі (1) і на землі (2)

Як видно з рис.4.1, максимальна концентрація K_1 радіонуклідів в приземній атмосфері (крива 1) складає $1{,}5\cdot10^{-18}$ Кі/л. Оскільки допустимі концентрації радіонуклідів стронцію і цезію складають 10^{-15}-10^{-13} Кі/л, то коефіцієнт запасу дорівнює 10^3. Максимальна густина забруднення K_2 на поверхні землі $4\cdot10^{-10}$ Кі/м^2 (крива 2), що відповідає максимальній потужності експозиційної дози біля $4\cdot10^{-2}$ мкР/год або додатковій річній дозі 120 мР. Таким чином, додаткова доза складає лише біля 0,33% від рівня природного фону. Середня доза для населення від радіоактивних випадінь, зумовлених випробуваннями ядерної зброї, оцінюється приблизно в 4 % від рівня фону.

Розрахунки для ЯР з тепловою потужністю 1 МВт і тривалістю роботи 3 роки показали, що навіть при високій тепловій потужності ЯЕУ сумарна максимально можлива річна еквівалентна доза внутрішнього та зовнішнього опромінення населення Землі не перевищить $2\cdot10^{-4}$ бер (0,2

мбер), що більше, ніж на два порядки менше еквівалентної дози від природних джерел.

Велику небезпеку можуть становити фракції часток з розмірами 50-100 мкм. Ці частки на протязі перших декількох годин після утворення осідають на землю в районі руйнування ЯЕУ. Вони мають високу активність, погано розсіюються повітряними масами і можуть створювати локальне забруднення земної поверхні високої густини. Залежність потужності еквівалентної дози від часу для подібного випадку при одиничних густині забруднення і тепловій потужності ЯР наведена в табл. 4.11.

Оскільки реальні поверхневі масові густини забруднення можуть складати 10^{-6}-10^{-10} кг/м^2, та наведені в табл. 4.11 значення зменшуються на відповідне число порядків.

Таблиця 4.11

Зміна часом потужності дози при одиничних густині забруднення і тепловій потужності ЯР

ність дози, бер/год						

Річні дози в залежності від відстані до осі смуги забруднення для екстремального випадку, що розглядається, показані на рис.4.2 (крива 1– діаметр часток 200 мкм, 2 – 500 мкм, 3 – 800 мкм).

Графіки на рис.4.2 визначають ступінь радіаційної небезпеки в середині зони забруднення при відсутності витримки зупиненого ЯР. Витримка реактора, не змінюючи загальної картини розподілення доз, знижує їх абсолютні значення у відповідне число разів.

Якщо спектр розмірів часток знаходиться в діапазоні 10-100 мкм, то основним механізмом самоочищення атмосфери від них є гравітаційне осідання. Осідаюча хмара часток таких розмірів розсіюється в тропосфері як хмара зважених аерозолів. Результати розрахунків свідчать:

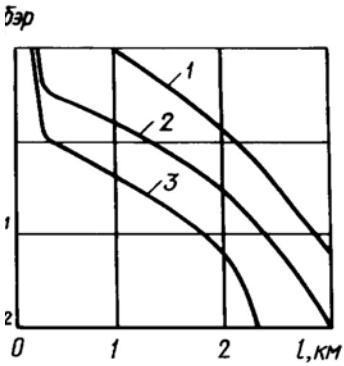


Рис. 4.2. Зміна річної дози із збільшенням відстані до осі смуги забруднення при різних діаметрах часток

1) максимум густини випадінь приходиться на район, де осідають частки розміром біля 30 мкм;

2) випадіння максимальної густини слід чекати через дві доби від моменту руйнування ЯЕУ в районі біля 2 тис. км на схід і 500 км на південь від місця руйнування;

3) ширина смуги забруднення земної поверхні в максимумі густини випадінь складе біля 300 км;

4) річна доза зовнішнього опромінення в максимумі густини випадінь при мегаватних теплових потужностей ЯЕУ не перевищують 0,07-0,2 гранично допустимої дози.

Екологічні наслідки двох відомих аварій КА з ЯЕУ можна охарактеризувати наступним чином.

В квітні 1964 р. КА “Транзит” з РІГ не вийшов на орбіту і зруйнувався на висоті біля 45 км в Південній півкулі. РІГ містив 1 кг плутонію-238 активністю 17000 Кі. До кінця 1971 р., коли практично весь плутоній осів на землю, розрахункова концентрація радіонукліду в поверхневих водах океану в шарі 0-100 м складала $5\cdot10^{-16}$ Кі/л. На поверхні землі в поясі 40°-50° південної широти густина забруднення грунту склала біля 10^{-9} Кі/м^2. Навіть в Північній півкулі випадіння цього радіонукліду повинні були перевищити 10^{-10} Кі/м^2, що дозволяє реєструвати сучасна радіометрична апаратура.

В грудні 1982 р. КА “Космос-1402” з ЯР припинив активне існування. За командою із Землі ЯР був виключений і ДСРБ розділила ЯЕУ на три фрагменти, які згоріли при вході в щільні шари атмосфери, не загостривши радіаційну обстановку на землі.

5. ДІЯ РКТ НА ПРИЗЕМНІ ШАРИ АТМОСФЕРИ, ТРОПОСФЕРУ І НИЖНЮ СТРАТОСФЕРУ

В процесі експлуатації РКТ виникають хімічні забруднення атмосфери в результаті згоряння ракетного палива і викидів продуктів згоряння в атмосферу при роботі ракетних двигунів, а також в результаті випаровування палива при штатних та аварійних виливах компонентів ракетного палива.

5.1. Утворення продуктів згоряння в зоні розташування стартового комплексу

В перші секунди після старту КА в зоні розташування стартового комплексу під час роботи ракетного двигуна виникає газоподібний клуб продуктів згоряння КРП, які в залежності від складу ракетного палива і метеоумов можуть поширюватись в газовій, аерозольній і рідкій фазах. У вологих газоподібних клубах розмір крапель, що утворились на аерозольних центрах конденсації, може вирости до такого ступеню, що вони почнуть випадати у вигляді кислотних дощів.

В міру підйому ракети над стартовою площадкою із продуктів згоряння формується складна газоподібна хмара, форма і розміри якої суттєво залежать від теплофізичних властивостей палива, траєкторії ракети і метеообстановки. На протязі перших 5-7 с ракета обгортається газами, що витікають із двигуна, і через низьку швидкість відриву залишається всередині хмари.

Після 7-10-ї с польоту (в залежності від умов витікання, властивостей палива і метеоумов) ракета виходить із газоподібного викиду і формує в спокійній атмосфері без інверсійних шарів порівняно тонкий газоподібний слід. Таким чином, при старті ракети утворюється два незалежних газоподібних викиди: стартовий клуб і слід.

Процес формування стартового клуба залежить від теплофізичних властивостей продуктів згоряння палива, визначається умовами його утворення, температурою і швидкістю вітру в приземному шарі, а також динамічними характеристиками ракети в перші секунди після старту. Ці характеристики визначають сумарний час утворення клуба – один із основних

параметрів викиду. Під дією виштовхуючої сили нагріті продукти згоряння “спливають”, і на висоті приблизно 100-150 м починає формуватись клуб продуктів згоряння. Формування клуба викиду закінчується після того, як тиск газів у ньому зрівняється з тиском оточуючого повітря.

Маса викиду при старті РН збільшується за рахунок роботи двигуна з витратами q_0 і за рахунок втягнення в нього оточуючого повітря.

Система диференційних рівнянь, що описують динаміку стартового клуба ракети може бути подана у вигляді [19]:

$$\begin{aligned}
&\frac{dM}{dt} = q_0 + E \cdot s;\\
&\frac{dM_i}{dt} = q_0 \cdot C_{10} + E \cdot s \cdot C_\infty;\\
&\frac{d(MV)}{dt} = \frac{g(c_\infty - c) \cdot M}{c};\\
&\frac{d(MH)}{dt} = (1 - \omega) \cdot q_0 \cdot Q_T + E \cdot s \cdot H_\infty;\\
&\rho = \rho_\infty
\end{aligned} \tag{5.1}$$

Тут M, M_i – відповідно маси газу в викиді та і-тої домішки в ньому (M_i=M·C_i); C_i – масова концентрація і-тої домішки; H – повна ентальпія одиниці маси газу; E – втягненість в викид оточуючого повітря; ρ, V – густина і швидкість підйому викиду; Q_T – теплотворна здатність ракетного палива; s – поверхня втягнення в викид оточуючого повітря; p – тиск газів; $\omega=E_n/(q_o \cdot Q_т)$ – коефіцієнт енергетичних втрат речовини викиду при його контакті з поверхнею землі; E_n – питомі втрати енергії при контакті викиду з підстилаючою поверхнею.

Індекси 0 і ∞ відносяться відповідно до початкових значень характеристик викидів і до значень відповідних характеристик оточуючого повітря.

Система рівнянь (5.1) доповнюється рівнянням стану газу у вигляді:

$$p=\rho RT/\mu, \tag{5.2}$$

де R – універсальна газова стала; μ – молекулярна вага суміші продуктів викиду; T – температура газу,

і рівнянням зв’язку ентальпії з температурою:

$$H=C_pT, \quad (5.3)$$

де C_p – теплоємкість газової суміші при ρ=const.

Система рівнянь (5.1)-(5.3) розв'язується при таких припущеннях:

– атмосферне повітря нерухоме;

– стартовий клуб має сферичну форму;

– речовина клуба сильно турбулізована, тому справедливим є осереднення динамічних і теплових характеристик за його об'ємом;

– механічною енергією викиду, як цілого, можна знехтувати порівняно з його тепловою енергією.

Система (5.1)-(5.3) розв'язується при завданих початкових умовах при t=0.

5.2. Випаровування виливів компонентів ракетного палива

В процесі експлуатації КРТ можна виділити такі основні стадії, при яких можливі виливи КРП з подальшим випаровуванням і негативною дією на НПС.

5.2.1. *Виробництво КРП на заводі-виробнику*

На підприємствах можливі так звані неорганізовані викиди і виливи хімічно шкідливих речовин (викиди через вентиляційні пристрої, під час зливно-паливних операцій на залізничних естакадах тощо). Можливі викиди також і при аваріях на підприємствах. Вказані неорганізовані викиди враховуються при визначенні сумарних гранично допустимих викидів в атмосферу і гранично допустимих скидів у водні об'єкти шкідливих хімічних речовин.

5.2.2. *Перевезення компонентів ракетних палив залізничним транспортом*

Як правило, перевезення продуктів із заводу-виробника на склади і бази зберігання, місця заправки виробів чи випробувальні станції здійснюється залізничним транспортом в залізничних цистернах об'ємом від 25 до 75 м^3. У випадку порушення герметичності цистерни з різних причин, а також порушення цілісності цистерни в результаті аварії можуть виникати такі несприятливі для НПС і населення явища:

– при порушенні герметичності цистерн (зміщення кришки люка в результаті сильного удару або корозії, а також навмисних дій) відбувається викид парів і вилив токсичних продуктів в НПС, що у випадку зупинки у населених пунктах може створити вибухонебезпечну або токсиконебезпечну ситуацію для населення;

– у випадку аварії залізничного транспорту з частковим або повним руйнуванням залізничної цистерни або резервуару відбувається вилив значної кількості КРП на грунт і створення великої загазованості атмосфери, що вимагає проведення екстрених організаційно-технічних заходів щодо локалізації виливів і ліквідації наслідків з залученням великої кількості технічних і хімічних засобів і матеріальної компенсації збитку, завданого НПС.

5.2.3. *Перекачування КРП*

При перекачуванні продуктів в засоби зберігання і транспортування виробу відбуваються неорганізовані локальні виливи продуктів у випадку несправності запорної арматури, трубопроводів, заправочних колонок, насосних агрегатів, метало рукавів тощо, через порушення ущільнень, корозії і механічних пошкоджень, переповнення цистерн, резервуарів, ємностей.

5.2.4. *Перевезення КРП автотранспортом*

При порушенні герметичності резервуарів і бочок, а також в результаті можливої транспортної аварії компоненти палив можуть потрапляти в навколишнє середовище як вдалині від населених пунктів, так і в населених пунктах, що зумовлює проведення певних організаційних заходів щодо ліквідації наслідків дії токсичних речовин на об’єкти навколишнього середовища.

5.2.5. *Зберігання КРП в резервуарах, ємкостях і баках виробів*

Зберігання компонентів ракетних палив здійснюється у відповідності із стандартами на РКП та інструкціями з експлуатації виробів. Шкідлива дія продуктів на об’єкти НПС може проявлятись при таких умовах:

а) у випадку дотримання встановленого порядку і правил експлуатації та обслуговування технічних засобів збереження – природні випаровування продуктів при зберіганні, залишки, що видаляються, при

зачистці резервуарів, компоненти, які виносяться з території зберігання зливовими і талими водами; продукти нейтралізації окислювачів і розчини палив в розчинниках, що утворюються при знешкодженні технічних засобів і виробів;

б) при порушенні встановлених правил експлуатації – витоки окислювачів із резервуарів через нещільності запорної і роздавальної арматури, фланців горловини, корпусів резервуарів, які виникають через корозію; аварійні виливи в результаті руйнування резервуарів і виробів від механічних пошкоджень та надлишкового тиску, при перевантажуванні виробів на транспортні засоби, при проведенні регламентних робіт

5.2.6. *Штатне падіння відокремлюваних частин РН*

При падінні ракетних частин, що відділяються, та елементів РН відбувається повне або часткове руйнування бакових відсіків, ступенів з викидом (виливом) гарантованих залишків палив і подальшим їх випаровуванням в атмосферу.

5.2.7. *Викиди компонентів палив і продуктів їх згоряння при роботі рідинних ракетних двигунів та ракетних двигунів на твердому паливі*

При ландшафтних виливах КРП процес забруднення НПС можна поділити на 2 етапи:

1) на протязі декількох годин від моменту виливу (перший етап) відбувається інтенсивне випаровування компонента із дзеркала виливу і перенесення парів в напрямку середнього вітру на значні відстані від джерела виливу; одночасно відбувається вбирання компонента грунтом (якщо основа проникна); при цьому концентрація парів в точці спостереження плавно підвищується до певного постійного значення на протязі часу, який дорівнює терміну дії джерела. Далі концентрація плавно зменшується до нуля.

2) на другому етапі забруднення атмосфери парами компонентів палив характеризується меншою інтенсивністю дії, але є більш тривалим (до кількох років). Відбувається капілярним підйом компонента палива до поверхні грунту і подальше його випаровування в атмосферу.

Перший етап характеризується значними площами забруднення і значеннями концентрацій від долей до сотень ГДК, а також швидким

відновленням до фонових значень концентрацій на рівні долей ГДК в безпосередній близькості від плями виливу.

Загальна маса компонента, що випарувався, тривалість існування дзеркала виливу і максимальне значення площі виливу визначаються за методикою, поданою в розділі 4.1.

5.3. Розрахунок атмосферних викидів

Для оцінки хімічного забруднення атмосфери парами КРП використовуються два різних підходи:

- статистичний, заснований на Гаусовій моделі розсіювання домішок в атмосфері;
- напівемпіричний (К-теорія), заснований на розв'язках напівемпіричного рівняння турбулентної дифузії в атмосфері.

В основу методик оцінювання забруднення атмосфери Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA US), а також методик МАГАТЕ закладена статистична модель [20] перенесення домішок в атмосфері. Нормативні документи з нормування викидів хімічних речовин (ОНД-86, РД 52.04.186-89) в атмосферу, прийняті на території країн СНД та Росії, містять методики, засновані на напівемпіричному підході.

Існуючі методики нормування викидів не дозволяють виконувати розрахунки полів концентрації від пересувних і (або) нестаціонарних джерел, а викиди хімічних речовин РКТ відносяться саме до цих типів джерел. Тому для оцінки викидів хімічних речовин об'єктами космічної інфраструктури в нинішніх умовах використовуються тимчасові методики, які сполучають в собі одночасно кілька підходів до оцінки викидів.

Для визначення концентрації парів КРП використовується розв'язок напівемпіричного рівняння турбулентної дифузії в повній формі:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + U_x \frac{\partial q}{\partial x} + U_y \frac{\partial q}{\partial y} + V \frac{\partial q}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} + F, \quad (5.4)$$

Тут U_x, U_y – компоненти швидкості вітру в системі координат з віссю x, спрямованій вздовж швидкості вітру; q – миттєва концентрація забруднюючої домішки; K_x, K_y, K_z – коефіцієнти дифузії в напрямках осей координат; F – функція джерел і стоків домішки; V – швидкість гравітаційного осідання домішки.

Для вирішення рівняння (5.4) необхідно скористатись методом функцій джерела (функцій Гріна), суть якого в тому, що будь-який процес поширення домішки в атмосфері можна подати у вигляді суми процесів вирівнювання концентрацій домішки, розподілених у просторі і часі. Елементарним розв'язком методу функцій джерел для тримірного простору і крайової умови "відображення" ($\partial q/\partial z = 0$ при z=0) є рівняння виду:

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q \cdot S}{\sqrt{K_x \cdot K_y \cdot K_z \cdot [4p(t - t')]^3}}, \qquad (5.5)$$

де Q – потужність миттєвого джерела забруднення; t – час роботи джерела забруднення; t′ – довільний момент часу.

$$S = \exp\left[- \frac{[x - U \cdot (t - t')]^2}{4 \cdot K_x \cdot (t - t')} - \frac{y^2}{4 \cdot K_y \cdot (t - t')} \right] \times$$

$$\left\{ \exp\left[- \frac{[z - H(t')]^2}{4 \cdot K_z \cdot (t - t')} \right] + \exp\left[- \frac{[z + H(t')]^2}{4 \cdot K_z (t - t')} \right] \right\}, \qquad (5.6)$$

де H(t′) – висота джерела викиду; U – швидкість вітру в системі координат з віссю X, спрямованою вздовж швидкості вітру.

Таким чином, основну задачу перенесення забруднюючих домішок в атмосфері можна сформулювати наступним чином: знаючи потужність миттєвого джерела забруднення Q в точці з координатами (x′, y′, z′), визначити в той чи інший момент часу концентрацію домішки в довільній точці (x, y, z) при заданому стані атмосфери. Тоді будь-яку практичну задачу розрахунку поля концентрації домішки в довільній області з джерелом будь-якої форми і при різноманітних режимах його роботи можна вирішити шляхом послідовної реалізації основної задачі (принцип суперпозиції):

– перебором (x′, y′, z′) в просторовій області Ω_S імітувати довільну форму джерела;

– перебором (x, y, z) в межах області Ω_R виділити в просторі область розрахунку (робочу зону);

– завданням залежності Q (x′, y′, z′, t′) відтворити довільний часовий режим роботи джерела викиду.

5.4. Викиди рідких ракетних палив в атмосфері

Другі ступені РН, що відпрацювали, звичайно відділяються на висотах до 100 км і, входячи в щільні шари атмосфери, руйнуються на висотах 35...40 км в залежності від конструкції ступеню та аеродинамічних факторів. Невироблені залишки палива при цьому викидаються в атмосферу. Обслідування районів падіння других ступенів РН не виявляє значних кількостей КРП, тому вважається, що залишки палива при падінні випаровуються, переходять в газову фазу, розбавляються до безпечних концентрацій і не загрожують небезпекою для населення. Однак це припущення ніколи не перевірялось ні розрахунковим, ні експериментальним шляхом.

Для зменшення розмірів відчужених районів при збереженні безпеки для населення пропонується викидати невироблені залишки палива в атмосферу після відокремлення ступеню, що відпрацював. Припускалось, що викинуті в атмосферу рідини будуть дробитись на дрібні краплі, які повинні випаровуватись в атмосферу до випадіння на поверхню, а утворені пари палива при перемішуванні з оточуючим повітрям будуть розбавлятись до безпечної концентрації. Крім того, пари палива в стратосфері будуть швидко розкладатися при хімічній взаємодії з гідроксилом ОН, озоном та атомарним киснем, утворюючи нетоксичні сполуки.

З врахуванням рівня забруднення атмосфери в залежності від метеоумов були розраховані для палив НДМГ і гасу швидкості падіння крапель цих палив. Для синтетичних вуглеводневих палив, очевидно, можна використати дані, отримані для гасу. Оскільки в різних РН використовувались різні сорти гасу, розрахунки виконувались для деякого “умовного гасу” з температурою кипіння ~435 К, тиском насичуючої пари 61 Па при 273 К.

Рідина, викинута в атмосферу, внаслідок гідродинамічної нестійкості розпадається на краплі, розмір яких залежить від фізико-хімічних властивостей рідини і параметрів оточуючої атмосфери. За результатами експериментів в аеродинамічних трубах краплі радіусом понад 0,1 мм дією аеродинамічного напору деформуються і утворюють сплюснутий еліпсоїд обертання. У більш крупних крапель нижня основа спочатку стає плоскою, а потім втискується в середину, утворюючи “шапку” – тороїд, покритий зверху плівкою рідини. Потім видувається вверх і лопається, утворюючи, велику кількість дрібних крапель. Тороїд, що залишається, розпадається на

декілька крупних крапель. Максимальний (критичний) розмір гідродинамічних стійких крапель визначається за умовою $r_{кр}=\lambda^*/4$, де λ^* – критична довжина хвилі нестійкості Тейлора:

$$л^* = \sqrt{y / g \cdot c_р}, \qquad (5.7)$$

тут σ – поверхневий натяг на границі поділу рідина-газ; $\rho_р$ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння.

Для водних розчинів поверхнево-активних речовин близькі результати дає емпірична формула:

$$r_{кр} = 1{,}722 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{y}, \qquad (5.8)$$

де r виражається в мм, а поверхневий натяг в Н/м.

Для НДМГ критичний розмір крапель при 20°С складає 2,7 мм, збільшуючись до 3 мм при -30°С і до 3,2 мм при – 60°С. Для гасу і синтетичних вуглеводневих палив критичний розмір крапель не повинен суттєво відрізнятись від НДМГ, тому для “умовного гасу” розрахунки швидкості падіння і випаровування виконувались для крапель радіусом 3 мм і менше.

При викиді в атмосферу порівняно великих кількостей рідини на висотах 3-60 км в результаті спонтанного дроблення окремих нестійких крапель і об’ємів рідини з еквівалентним радіусом понад 3 мм і масою 0,1 г формується хмара з розподіленням числа крапель за розмірами, близьким до експоненціального. Дані про параметри розподілення крапель за розмірами для інших рідин, крім води, відсутні, і для подальших розрахунків використовувалась закономірність, отримана при вивченні дроблення води:

$$f(r)=dn/dr=A\exp(1{,}56r), \qquad (5.9)$$

де A – нормуючий множник; r – радіус краплі, мм.

Для НДМГ і “умовного гасу” критичний радіус краплі дорівнює 3 мм і A=1,575. Відповідні цьому розподіленню долі кількості і маси крапель в окремих інтервалах розмірів наведені в таблиці 5.1. Як видно, краплі радіусом від 2,5 до 3 мм складають всього 1,1% загальної кількості крапель, однак в них зосереджено 20,4 % маси рідини.

Таблиця 5.1

Доля (%) кількості і маси крапель, що утворюються при дробленні рідини в різних інтервалах розмірів

Інтервал за радіусом, мм	Кількість, %	Маса, %
0,0-0,5	54,7	1,2
0,5-1,0	25,0	9,5
1,0-1,5	11,5	19,7
1,5-2,0	5,3	24,9
2,0-2,5	2,4	24,3
2,5-3,0	1,1	20,4

Швидкість випаровування крапель рідини в атмосфері від поверхні Землі до висоти приблизно 60 км лімітується дифузією і може бути розрахована за формулою:

$$\frac{dm}{dt} = -4pDr(c^s - c^\infty)F_M, \qquad (5.10)$$

де m – маса краплі; D – коефіцієнт дифузії молекул пари в повітрі; ρ^s і ρ^∞ – відповідно густина пари в оточуючому повітрі і біля поверхні краплі (при розрахунку швидкості падіння крапель на значній відстані одна від одної значенням ρ^∞ можна знехтувати); F_M – поправочний множник, який враховує вплив на швидкість падаючої краплі набігаю чого потоку і режиму обтікання.

Оскільки експериментальних даних про значення коефіцієнти дифузії різних молекул в повітрі мало, звичайно використовуються значення, розраховані на основі кінетичної теорії для твердих не взаємодіючих сфер [1]:

$$D = \frac{2{,}628 \cdot 10^{-7}}{p(y_{12})^2} \cdot \left[T^3 (M_1 + M_2)/(2 \cdot M_1 \cdot M_2)\right]^{1/2}, \qquad (5.11)$$

де T – температура; p – тиск; M_1, M_2 – молярні маси дифундуючих газів; $\sigma_{12}=(\sigma_1+\sigma_2)/2$, σ_1, σ_2 – зіштовхувальні діаметри молекул газів.

Для сферичної краплі поправочний множник в (5.10), який часто називається коефіцієнтом вентиляції (обдувки) або вітровим множником, $F_M=Sh/2$, де $Sh=2\sigma_M \cdot r/D$ – число Шервуда, σ_M –

коефіцієнт масопередачі. Для розрахунку числа Шервуда звичайно користуються емпіричними формулами, наприклад, формулою:

$$Sh=2\cdot(1+0,28\cdot Sc^{1/3}\cdot Re^{1/2}), \qquad (5.12)$$

де $Sc=\mu/(\rho D)$ – число Шмідта; $Re=2rv\rho/\mu$ – число Рейнольдса; μ – динамічна в'язкість повітря; v – швидкість падіння краплі; ρ – густина повітря.

Температуру поверхні краплі, що випаровується, T_s, необхідну для розрахунку тиску насиченої пари, можна визначити із рівняння теплового балансу:

$$L\cdot(dm/dt)=-4\pi\cdot\lambda\cdot r\cdot(T_s-T)\cdot F_T, \qquad (5.13)$$

де L – теплота випаровування рідини при температурі T_s; dm/dt – масова швидкість випаровування; λ – теплопровідність повітря; T – температура повітря; F_T – поправочний множник, який враховує вплив обдувки краплі на теплопереніс, $F_T=Nu/2$, де $Nu=2\alpha_T r/\lambda$ – число Нуссельта; α_T – коефіцієнт тепловіддачі.

Для визначення числа Нуссельта також використовуються емпіричні формули [1]:

$$Nu=2+0,03(Pr)^{0,33}Re^{0,54}+0,35(Pr)^{0,35}Re^{0,58}, \qquad (5.14)$$

де $Pr=C_p\mu/\lambda$ – число Прандтля; C_p – теплоємкість повітря при постійному тиску.

Для визначення висоти, до якої падаюча крапля повністю випаровується, а також для розрахунку числа Рейнольдса R_e необхідно знати залежність швидкості падіння крапель рідини від їх розміру, висоти над поверхнею Землі, від температури і густини повітря. Розрахунок швидкості здійснюється за формулою:

$$v=\frac{2\cdot c_p\cdot g\cdot r^2}{9\cdot м\cdot F/F_s}, \qquad (5.15)$$

де ρ_p – густина рідини; F/F_s – відношення реальної сили опору середовища руху краплі F до стоксової сили опору F_s.

Поправочний множник визначається звичайно за емпіричними формулами, наприклад, за такою [1]:

$$F/F_s=[1+f(Re)]\times[1+f(We)], \qquad (5.16)$$

де $We=\rho v^2/2\sigma$ – число Вебера; σ – поверхневий натяг на границі поділу рідина – газ.

При наближенні швидкості падіння краплі до швидкості звуку різко зростає хвилевий опір. Для приблизного врахування цього ефекту в F/F_s вводиться множник $f(M)=(1-M^2)^{-1/2}$, де $M=v/a$ – число Маха, а – швидкість звуку (залежить від температури повітря).

При розрахунку дроблення, падіння і випаровування невироблених залишків палива в першому ступені, який відпрацював, припускається, що в атмосферу на висотах від 20 до 50 км миттєво викидається 400 кг рідини, а температура викинутої рідини практично миттєво встановлюється такою, що дорівнює температурі оточуючого повітря. Потрібне розподілення за висотою параметрів атмосфери (температура, тиск, швидкість і напрям вітру) задається згідно з відповідними посібниками або стандартами.

Для розрахунку розподілення за розмірами числа крапель викинутої рідини служить рівняння (5.7). Поверхневий натяг (Н/м) для НДМГ розраховується за формулою:

$$\sigma_{НДМГ}=5{,}88\cdot10^{-2}-1{,}157\cdot10^{-4}T, \qquad (5.17)$$

для “умовного гасу” поверхневий натяг ($\sigma_{уг}$) приймався сталим, не залежним від температури

$$\sigma_{уг}=2{,}77\cdot10^{-2}\ Н/м \qquad (5.18)$$

Залежність густини рідини (кг/м^3) від температури приймалась:

для НДМГ

$$\rho_{НДМГ}=1094{,}5-1{,}03T, \qquad (5.19)$$

для “умовного газу”

$$\rho_{уг}=1094{,}6-0{,}83T. \qquad (5.20)$$

Для розрахунку швидкості падіння крапель рідини використовується закон Стокса (5.15) з поправками (5.16). Поправка на число Вебера в (5.16) має вигляд:

$$1+f(We)=1+0{,}269We^{1,7}, \qquad (5.21)$$

а поправка на число Рейнольдса:

$$1+f(Re)=1+\exp(a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3+a_4x^4), \qquad (5.22)$$

де $x=\ln(Re)$; $a_0=-2{,}007$, $a_1=0{,}8218$, $a_2=-0{,}03101$, $a_3=-0{,}0002744$, $a_4=0{,}0003487$ – емпірично підібрані коефіцієнти.

Рівняння, що описує швидкість випаровування крапель палива при падінні в атмосфері, розв'язувалось чисельним методом спільно з рівнянням для швидкості падіння і рівняння теплового балансу. Початкова швидкість краплі в момент викиду рідини приймається такою, що дорівнює нулю.

Для опису залежності тиску насиченої пари НДМГ від температури використовується емпірична формула:

$$p_н = \exp\frac{21{,}33\cdot T - 3950}{T - 57{,}49}, \qquad (5.23)$$

для "умовного гасу"

$$p_{н(уг)} = \exp\frac{24{,}03\cdot T - 5439}{T}, \qquad (5.24)$$

де P – в Па, а T – в К.

Результати розрахунків висоти повного випаровування h_k крапель різного початкового розміру НДМГ та "умовного гасу" для стандартної атмосфери наведені на рис.5.1. Як видно, краплі НДМГ всіх розмірів повністю випаровуються в атмосфері (штрихові криві); основна ж частина "умовного гасу" (суцільні криві) випадає на поверхню Землі, забруднюючи її.

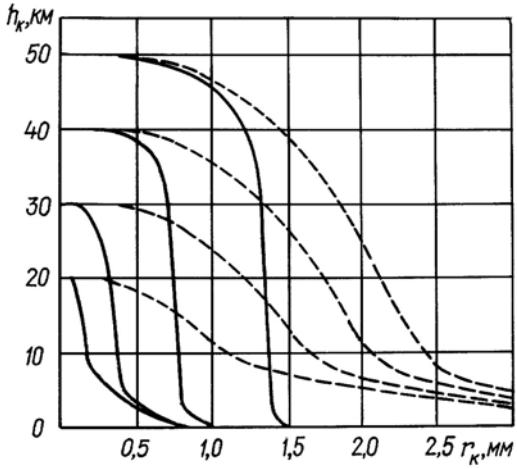


Рис.5.1.Висота h_k повного випаровування крапель НДМГ (штрихові криві) і "умовного гасу" (суцільні криві) в залежності від початкового розміру r_k крапель на висоті викиду

5.5. Електромагнітні забруднення районів експлуатації РКТ

Джерелами електромагнітного забруднення районів експлуатації РКТ, переважно територій командно-вимірювальних комплексів і космодромів, є радіотехнічні системи, які працюють в УВЧ і НВЧ діапазонах і мають достатньо високу потужність (до 1000 кВт в імпульсі). Ці діапазони частот характеризуються тим, що перехід енергії електромагнітного поля в інші види (зокрема, в теплову), особливо у біологічній тканині, відбувається з високою ефективністю [2].

Дія НВЧ-випромінювання на природні комплекси і людину оцінюється за інтенсивністю випромінювання, яка визначається густиною потоку енергії (ГПЕ). В районах розташування командно-вимірювальних комплексів (КВК) може відбуватись аномальне поширення радіохвиль (явище надрефракції), яке спостерігається найбільш часто в ранішні та вечірні години влітку. При цьому обслуговуючий персонал і населення можуть потрапляти в зону дії бокових пелюсток радіотехнічних систем. Складність визначення впливу мікрохвильових випромінювань на стан екосистем зумовлена відсутністю граничнодопустимих норм НВЧ-опромінювання для біоти, зокрема для вищих рослин [1].

Результати експериментальних досліджень свідчать, що екологічні наслідки мікрохвилевих випромінювань визначаються їх частотою і потужністю. Експерименти показали, що низькоінтенсивні (з ГПЕ біля 5 Вт/м^2) електромагнітні випромінювання в УВЧ діапазоні з частотами, характерними для природних джерел (галактичних радіовипромінювань), можуть чинити на рослини стимулюючу дію, призводити до підвищення біопродуктивності. Робочі діапазони частот радіотехнічних систем, які використовуються в КВК РФ, наближаються до частотних ліній галактичного радіовипромінювання на хвилі 18 см (1612, 1665, 1667 і 1720 МГц). Густина потоку енергії уже на відстанях порядку десятків метрів знижується до значень, які використовувались в експериментальних дослідженнях.

Однак екологічні наслідки потужних мікрохвильових випромінювань інших частот можуть бути негативними. Так, при інтенсивному опромінюванні в радіодіапазоні, як показали експерименти, знижується фотосинтетична активність в листках рослин, спостерігається підвищення частот хромосомних аберацій (лат. aberratio – відхилення), зниження пророщуваності насіння. З

іншого боку, для біоти характерна адаптація до найбільш різноманітних дій, в том числі і до НВЧ-випромінювань [1], інтенсивність же мікрохвилевих випромінювань радіотехнічних систем швидко знижується в міру віддалення від джерела випромінювання.

Таким чином, із результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити попередні висновки про помірний вплив мікрохвилевих випромінювань радіотехнічних систем КВК на екологічний стан природних комплексів. Для отримання більш чітких, зокрема кількісних оцінок такого впливу необхідне проведення подальших теоретичних та експериментальних досліджень.

Чисельні експериментальні дослідження в різних космічних державах свідчать про високу біологічну активність електромагнітних випромінювань практично всього спектра радіочастот.

Порушення, викликані дією електромагнітних полів на людину, проявляються з боку вищої нервової діяльності і біоелектричної активності мозку. Однією з причин, які сприяють розвитку несприятливих факторів у людини, є інформаційна дезінтеграція в системі мозку з подальшими порушеннями в інших функціональних системах. Так, встановлено, що надто чутливими до електромагнітних полів (ЕМП) є ендокринна, імунна і репродуктивна системи людини. Періодична дія ЕМП може призвести до стійких змін гормонального статусу, негативно впливати на генетичні структури.

Шкідливість дії ЕМП на організм може посилюватись у випадках:

– використання складних режимів генерації поля;

– дії на хворий організм, зокрема, на той, який страждає алергічними захворюваннями або має генетичну схильність до розвитку пухлини;

– опромінювання організму в періоді ембріогенезу і в дитячому віці;

– комбінованої дії ЕМП та інших факторів зовнішнього середовища мешкання людини.

Небезпеці опромінення піддаються часто люди, які не працюють безпосередньо на апаратурі радіотехнічних систем, а з будь-яких причин опинились в зоні випромінювання антен. Такі ситуації виникають при не правильному розташуванні КВК по відношенню до місць перебування людей.

Густина потоку енергії (ГПЕ) НВЧ-випромінювання на відстані R від антени розраховується за формулою:

$$ГПЕ = \frac{P_c \cdot G}{4p \cdot R^2}, \quad (5.25)$$

де P_c – середня потужність радіолокаційної станції (РЛС); якщо в паспорті РЛС позначена не середня, а імпульсна потужність $P_{імп}$, то необхідно виконати перерахунок $P_{імп}$ в P_c.

$$P_c=P_{імп}/N, \quad (5.26)$$

де N – шпаруватість антени, яка вказується в паспорті; G – коефіцієнт підсилення антени; якщо G не задано, то його можна визначити за формулою:

$$G=0,7\cdot 4\pi\cdot A/\lambda^2. \quad (5.27)$$

тут A – площа розкриття антени РЛС, $м^2$ (площа проекції антени на горизонтальну поверхню); λ – довжина хвилі, м.

Розкриття антени для параболічної антени $A=\pi R^2$ (R – відстань від антени до точки визначення ГПЕ), для прямокутної – добуток довжини на ширину. Формула (5.27) справедлива для точки, яка знаходиться на електричній осі пелюстки в дальній зоні діаграми направленості випромінюючої антени РЛС.

Як свідчать розрахунки, ГПЕ від випромінюючих антен КВК, правильно розташованих на місцевості і піднятих на достатню висоту на відстані 50-400 м, не перевищує десятих долей вата на квадратний метр.

5.6. Теплове забруднення в зоні експлуатації РКТ

Наслідком теплового забруднення НПС може бути пуск РН, робота об’єктів тепло- та енергопостачання, транспорту, підприємств промисловості та комунального господарства; парниковий ефект від викидів газів та аерозолів.

Для оцінки кількості додаткової теплової енергії, яка розсіюється в районі експлуатації РКТ, необхідно розрахувати:

– теплову енергію, що безпосередньо надходить в природний комплекс в результаті пусків РН, роботи об’єктів тепло- та енергопостачання, транспорту, промислових підприємств і комунального господарства;

– теплову енергію, що надходить в природний комплекс внаслідок викидів парникових газів (CO_2) та аерозолів.

Район експлуатації РКТ – це територія розташування космодрому. В інших випадках (в районах падіння частин, що відділяються, на випробувальних стендах виробництв і т.д.) теплове забруднення значно

нижче. Енергію ЕМП НВЧ-випромінювання, яка виділяється засобами КВК і переходить в теплову енергію в живій речовині, в даному випадку можна не враховувати внаслідок незначного впливу на загальний теплоенергетичний баланс в екосистемі. Променевим теплообміном викидів, які переносяться атмосферними потоками від джерел, розташованих за територією району експлуатації РКТ, також можна знехтувати, оскільки вони охолоджуються під час перенесення.

Локальний парниковий ефект, можливий в районі розташування космодрому, виникає в результаті зменшення потоку сонячної радіації, яка досягає поверхні Землі внаслідок атмосферних викидів парникових газів (вуглекислого газу, метану) та аерозолів. Так, викиди CO_2 в районі розташування космодрому можуть досягати кількох тисяч тон за рік, на протязі кількох тижнів можуть знаходитися у повітрі викиди аерозолів.

Сучасні об'єми виробництва теплової енергії, яка виділяється в НПС, за різними оцінками, складає не більше 0,005 % енергії, яка надходить на Землю завдяки сонячній радіації. Тому на клімат планети ця додаткова теплова енергія суттєвого впливу не має. Однак локальні тепловиділення через нерівномірне їх розподілення на території планети можуть досягати 5% сонячного випромінювання [21]. Енергетична дія крупного космодрому (Східний випробувальний полігон США; космодром Байконур і т.д.) на НПС можна вважати еквівалентним дії невеликого промислового центру.

5.6.1. *Оцінка теплового забруднення району розташування космодрому*

В основу оцінки кількості теплової енергії, що виділяється космодромом, покладені закони теплопередачі. При пусках РН, роботі об'єктів тепло- та енергопостачання, транспорту, підприємств виробництва і комунального господарства космодрому виділення енергії відбувається в результаті променистого обміну нагрітих конструкцій будівель, споруд і систем з НПС; нагрітих мас атмосферних викидів з НПС.

Теплова енергія, що випромінюється нагрітими конструкціями будівель, споруд і систем – джерелом нагрітих викидів, визначається за формулою [22]:

$$Q_c = \sum_{k=1}^{p} S_k^c \cdot e \cdot y_0 \cdot (T_{ck}^4 - T_{нпс}^4), \qquad (5.28)$$

де S_k^c – випромінююча тепло площа k-того джерела викиду; ε – випромінююча здатність джерел теплового випромінювання; σ_0=5,67·10^{-8} Вт/(м^2·К^4) – стала Стефана-Больцмана; $T_{ск}$ – середня температура

зовнішньої поверхні k-того джерела викиду; $T_{нпс}$ – вихідна середньорічна температура навколишнього природного середовища.

Теплова енергія, яка передається від нагрітих мас атмосферних викидів, визначається за формулою [22]:

$$Q_г = \sum_{k=1}^{p} S_k^{вип} \cdot [1 - \exp(-в \cdot h_k)] \cdot y_0 \cdot (Ф_к^4 - T_{нпс}^4), \qquad (5.29)$$

де $S_k^{вип}$ – площа випромінюючої поверхні хмари гарячого викиду від k-того джерела, розташованого в районі, що розглядається; β – об'ємний коефіцієнт розсіювання теплового випромінювання в атмосфері (для ближнього діапазону інфрачервоного спектру можна прийняти $\beta \sim 11{,}6 \cdot 10^{-3}$ км$^{-1}$; h_k – ефективна довжина (середнє значення проникнення променистого потоку) при гарячому викиді від k-того джерела, м; T_k – температура газового викиду від k-того джерела, К.

Ефективна довжина:

$$h_k \sim 3{,}47 \cdot V_{кв}/S_n, \qquad (5.30)$$

де $V_{кв}$ – об'єм газового викиду від k-того джерела; S_n – площа обмежуючої поверхні, м^2.

$$V_{кв} = m_k/\rho_{ск}. \qquad (5.31)$$

Тут m_k – маса річного викиду k-того джерела, розташованого в районі експлуатації РКТ, тон; $\rho_{ск}$ – середня річна густина маси викиду k-того джерела, т/м^3.

Площа випромінюючої поверхні хмари гарячого викиду $S_k^{вип}$ від k-того джерела визначається за формулою:

$$S_к^{вип} = \sqrt[3]{36 \cdot p \cdot V_{кв}^2}. \qquad (5.32)$$

Площа S_n обмежуючої поверхні для гарячих викидів – це площа поверхні циліндра з неправильною основою, яка співпадає з границями природно-територіального комплексу РКТ. Площа $S_{птк}$ основи такого циліндра приймається такою, що дорівнює площі природно-територіального комплексу, який "накриває" район експлуатації РКТ, а висота циліндра h_b=0,01 км (середня висота підйому нагрітих атмосферних викидів).

Таким чином,

$$S_n = 2 \cdot S_{птк} + \sqrt{S_{птк}} \cdot h_b / p. \qquad (5.33)$$

Сумарна теплова енергія, яку отримує район експлуатації РКТ, знаходиться, як сума

$$Q_{теп}(t)=Q_c+Q_г. \qquad (5.34)$$

Верхню оцінку результуючої зміни середньорічної температури навколишнього середовища в районі експлуатації РКТ можна виконати, зробивши припущення про його ізольованість від зовнішнього простору і використавши перший закон термодинаміки:

$$\Delta T_{em}^{m}(t)=\frac{Q_{теп}(t)}{C_p \cdot M_{пов}}, \qquad (5.35)$$

де C_p=29,2 кДж/(кг·К) – теплоємкість повітря; $M_{пов}$ – маса повітря в об'ємі району експлуатації, кг.

$$M_{пов}=\rho_в \cdot S_{птк} \cdot h_в, \qquad (5.36)$$

де $\rho_в$=1,29 кг/м^3 – густина повітря.

5.6.2. *Оцінка вкладу викидів CO_2 та аерозолів в локальний парниковий ефект*

Середньорічна температура в районі природно-територіального комплексу експлуатації РКТ є зростаючою функцією концентрації CO_2 в атмосфері. Збільшення кількості CO_2 в атмосфері на 20% призводить до підвищення середньорічної температури на 0,3°С. За даними спостережень атмосфери, в період з 1958 до 1978 рр. середньорічна концентрація CO_2 в атмосфері зросла на 5% (рис.5.2). В даний час темпи приросту концентрації CO_2 в атмосфері залишаються приблизно такими ж, тому при тривалих прогнозах екологічних наслідків техногенних дій цей факт необхідно враховувати.

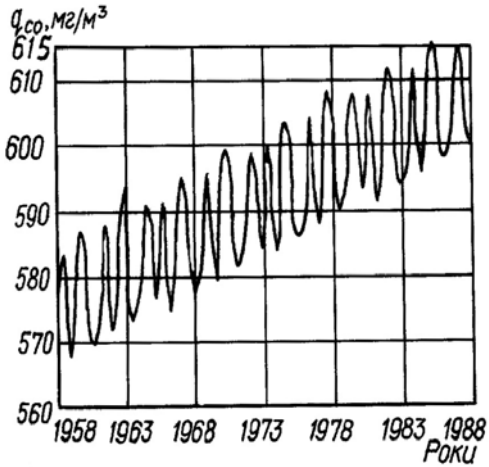


Рис.5.2. Зміна концентрації CO_2 в атмосфері землі з часом

Для розрахунків можна використати апроксимацію залежності відхилень середньорічної температури від концентрації CO_2, отриману в результаті математичного моделювання і спостережень [1]:

$$\Delta T_{em}^{y}(t) = \begin{cases} 2{,}5 \cdot \left[1 - \exp\left\{-0{,}82 \cdot (q_y^{від}(t) - 1)\right\}\right] \text{ при } q_y^{від}(t) \geq 1; \\ -5{,}25 \cdot (q_y^{від}(t))^2 + 12{,}55 \cdot q_y^{від}(t) - 7{,}3 \text{ при } q_y^{від}(t) < 1, \end{cases} \quad (5.37)$$

де $q_y^{від}$ – відносний прогнозний вміст CO_2 в атмосфері (по відношенню до вихідного значення). В вихідному стані $\Delta T_{em}^{y}(t) = 0$ і $q_y^{від}(t) = 1$.

Аерозольні частки техногенних викидів космодрому з розмірами $10^{-7}...10^{-2}$ см виявляються у всіх шарах атмосфери – від тропосфери до іоносфери [22]. Час існування часток в атмосфері складає від кількох хвилин і годин біля поверхні Землі до кількох років у стратосфері. Середній час перебування аерозолів в атмосфері за даними [21] складає 3 тижні. Із рівняння теплового балансу системи “Земля-атмосфера” виходить:

$$\Delta T_{em}^{a}(t) = \frac{1}{4 \cdot (1 - A_0)} \cdot \left[\frac{E_0^* \cdot (1 - A_0)}{y_0}\right]^{1/4} \cdot \Delta A(t), \quad (5.38)$$

де E_0^* – середня інтенсивність падаючої сонячної радіації, Дж/(м^2·К^4); A_0 – вихідне (без врахування техногенної дії району експлуатації РКТ) альбедо (лат. albedo – відношення кількості променистої енергії Сонця, відбитої від поверхні, до кількості енергії, що падає на цю поверхню; в середньому альбедо Землі становить 45%); $\Delta A(t)$ – локальна зміна альбедо, зумовлена аерозольними викидами.

$$\Delta A(t) = -(1 - A_0) \cdot [1 - \exp(k_b \cdot B(t)]. \quad (5.39)$$

Тут B(t) – середньорічна маса аерозолів, яка міститься в атмосфері на одиницю площі району експлуатації РКТ, т/км^2; k_b=0,1154 км^2/т – коефіцієнт пропорціональності.

Характеристики сонячної радіації та альбедо підстилаючої поверхні в районах розташування космодромів РФ наведені відповідно в табл.5.2 і 5.3. Зміни альбедо підстилаючої поверхні можуть досягати 20...30%.

Таблиця 5.2

Характеристики сонячної радіації в районах розташування російських космодромів

Широта (космодром)	Кількість прямої сонячної радіації, що приходиться на горизонтальну поверхню при безхмарному небі, (МДж/м^2)·рік	Доля прямої радіації в сумарній при реальних умовах хмарності, %	Коефіцієнти варіації місячних норм і сумарної радіації, %
64° пн.ш. (Плєсецьк)	3816	47	30-50
52° пн.ш. (Свободний)	5272	55	45-50
57° пн.ш. (Байконур)	5272	72	50-65

Таблиця 5.3

Альбедо підстилаючої поверхні

Підстилаюча поверхня	Альбедо, %
Чистий сніговий покрив	99
Брудний сніговий покрив	35
Трав'яний покрив восени	11-24
Торішня трава	10-23
Незволожені грунти	8-26
Зволожені грунти	4-16
Білий пісок	40
Водна поверхня	7-16

Як свідчать попередні розрахунки, вклад космодрому в локальне підвищення температури внаслідок теплового забруднення навколишнього природного середовища незначний і знаходиться в межах загального потепління в результаті

підвищення глобального фонового вмісту вуглекислого газу в атмосфері.

Питому середньорічну масу аерозолів, що містяться в атмосфері над районом експлуатації РКТ, можна знайти за припущення, що щорічний аерозольний викид рівномірно розчинюється в потоці повітря, яке проходить на протязі року через об'єм природно-територіального комплексу району експлуатації РКТ.

Об'єм потоку повітря, що проходить через цю область, дорівнює [1]:

$$V_{n.пов} = 55896 \cdot u \cdot h_n \cdot \sqrt{S_{птк}}. \qquad (5.40)$$

Тут u – середньорічна швидкість вітру, м/с; $S_{птк}$ – площа природно-територіального комплексу району експлуатації РКТ; h_n – висота приземного шару атмосферного повітря ($h_n \approx 100$ м). Тоді умовна густина аерозольного викиду

$$c_{а\,ум} = \frac{M_{а.вик}(t)}{V_{п\,пов}}, \qquad (5.41)$$

де $M_{а.\ вик}(t)$ – річний викид аерозолів всіх об'єктів всередині природного комплексу космодрому. В кінцевому вигляді

$$B(t) = h_n \cdot c_{а.ум} = \frac{M_{а.вик}(t)}{55896 \cdot u \cdot \sqrt{S_{птк}}}. \qquad (5.42)$$

Таким чином, локальне підвищення температури, викликане функціонуванням космодрому, дорівнює:

$$\Delta T_{em}(t) = \Delta T^{m}_{em}(t) + \Delta T^{y}_{em}(t) + \Delta T^{a}_{em}(t). \qquad (5.43)$$

5.7. Джерела акустичного забруднення під час експлуатації РКТ

Будь-які змінні процеси в атмосферному повітрі супроводжуються виникненням пружних коливань, тобто шуму. Середньостатистичний шум (фон) в приземному шарі атмосфери визначається вітром і постійно виникаючими турбулентними пульсаціями тиску різного просторового масштабу. Їх середньоквадратичні амплітуди приблизно пропорційні середній швидкості вітру і рідко перевищують кілька паскалів. Зміни ж акустичного шуму (іноді з перевищенням амплітуди коливань тиску в

10...1000 разів відносно фонових значень) зумовлюються такими крупно масштабними явищами, як зіткнення атмосферних фронтів, тайфуни, урагани, землетруси, виверження вулканів, цунамі та ін. Найбільш потужний техногенними джерелами акустичного шуму є масові вибухи при розробці корисних копалин, при будівництві, скиданні води із крупних водосховищ, транспортні потоки тощо. Такими ж за характером і масштабам дії на фон атмосфери техногенними джерелами шуму є випробування і запуск РН і повернення на Землю їх частин, що відділяються.

Розділ екології, що досліджує утворення, розповсюдження шумового забруднення, закономірності його впливу на живі істоти та визначає заходи попередження шумового забруднення НПС сформувався у новий напрямок – акустичну екологію [23]. Шумове забруднення є результатом роботи транспорту, устаткування промислових підприємств та будівництва, використання побутових приладів або поведінки людей, що можуть змінити природні акустичні характеристики на робочих місцях, у середовищі життєдіяльності людей, в тому числі в районах розташування та експлуатації КРК.

5.7.1. *Основні параметри шуму*

Найбільш важливими параметрами шуму є звуковий тиск, інтенсивність звука, звукова потужність та частотний спектр (див. розділ 1.4.4).

В інженерній практиці перші три параметри визначають у логарифмічних одиницях, що пояснюється двома причинами:

1) реакція слухового апарату людини на різну чутність має логарифмічний характер;

2) діапазон зміни цих параметрів надто великий.

Людина сприймає звук від 0 (нульовий поріг) до 140 дБ (больовий поріг).

Звуковий тиск може оцінюватись у напрямі максимального випромінювання або у границях заданих просторів кутів, таким чином визначаються просторові характеристики джерела.

Звукова потужність – це інтегральна характеристика шуму, який спричиняється джерелом. Рівень звукової потужності L_p, дБ визначається відносно порогової потужності $P_0=10^{-12}$ Вт за формулою:

$$L_p=10\lg(P/P_0). \qquad (5.44)$$

Звукова потужність є мірою швидкості випромінювання звукової енергії, тобто звуковою енергією, віднесеною до одиниці часу.

Зона слухового сприйняття людини обмежена за частотою значеннями 16...20000 Гц. Звук з частотою нижче 20 Гц називається інфразвуком, вище 20000 Гц – ультразвуком. В інженерній практиці прийнято вести вимірювання та розрахунки в октавних смугах частот з середньогеометричним частотами: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

За фронт акустичного збурення приймається границя між збуреною і незбуреною областями середовищами. Лінії, дотичні до яких в кожній точці співпадають з напрямком поширення хвилі, називаються звуковими променями. В однорідному середовищі – це прямі лінії. В неоднорідному середовищі із змінним в просторі хвильовим опором ρc або із змінною швидкістю самого середовища промені викривляються. Їх кривизна в даній точці визначається зміною так званої ефективної швидкості звука – векторної суми швидкості поширення збурення відносно середовища (c) і швидкості "зносу" збурення потоком речовини перед фронтом. В атмосфері такі потоки створюються вітром.

Густина атмосфери і тиск монотонно зменшуються з висотою, тоді як швидкість звука і швидкість вітру змінюються з висотою не монотонно. Відмінності в молекулярному складі повітря на різних висотах, а також процеси циркуляції, конвекції і теплообміну, що постійно відбуваються в атмосфері, призводять до температурної стратифікації атмосфери за висотою – відносно стійкому поділу на шари з різним знаком вертикальних градієнтів швидкості звука (температурна стратифікація) і швидкості вітру (вітрова стратифікація). Характерна для середніх широт

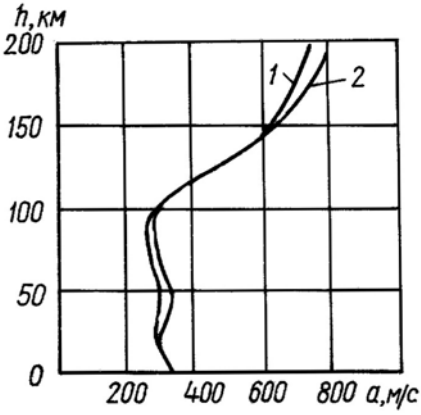


Рис.5.3. Залежність швидкості звука α від висоти h для стандартної (літньої) моделі атмосфери (1) і за експериментальними даними(2)

залежність швидкості звука від висоти атмосфери показана на рис.5.3.

Якщо ефективна швидкість звука зменшується з висотою (від'ємний градієнт) – звукові промені при поширенні збурення вверх відхиляються до вертикалі; при підвищенні швидкості (позитивний градієнт), навпаки, притискуються до землі. Для атмосфери землі характерні дві стійкі області з позитивним градієнтом ефективної швидкості звука: верхня стратосфера (висоти h~20-50 км) і термосфера (h>90 км). Границі цих областей і поверхня Землі утворюють два акустичних хвилеводи – стратосферний і термосферний. В цих хвилеводах можливий ефект, аналогічний повному внутрішньому відбиттю в оптиці, коли всі промені, що виходять із джерела під певними кутами до вертикалі, будуть повертатись назад до землі.

В приземному шарі атмосфери іноді існує ще один хвилевод завдяки "температурній інверсії" – утворенню на висотах 1-5 км шару з позитивним градієнтом ефективної швидкості звука. Тому часто спостерігається явище "аномальної чутності" – на відстані порядку 10-100 км рівні звукового тиску та інтенсивності в декілька разів перевищують значення, характерні для даного джерела збурень при відсутності інверсії. Причиною інверсії можуть бути локальні флуктуації теплових потоків, рух хмар, змінні погодні умови тощо, чим зумовлюється нестабільність акустичних характеристик приземного хвилеводу.

5.7.2. Фізіологічні наслідки дії шуму

Визначення впливу шуму на людей і довкілля більш складне, ніж інших екологічних забруднювачів. Шум може викликати пошкодження слуху. Люди з пошкодженим слухом страждають від дискомфорту і соціальної ізоляції, причому засобів лікування цієї хвороби не існує, а слухові засоби не можуть відновити втрачений слух. Шум може також сприяти розвитку або загостренню серцевих хвороб, зумовити вприск адреналіну в кров, скорочення кров'яних судин, пожвавлення серцевих скорочень, напруження мускулів. Шум може заподіяти регулярне і передбачуване напруження в людському тілі. Безперервне напруження може призвести до підвищення кров'яного тиску, який є головною причиною серцевих хвороб.

На шумове сприйняття у різних людей впливає ступінь фізичного і розумового напруження, фізична і психічна конституція людини, ступінь його психічної нестійкості. Наприклад, пороги чутності людини змінюються в широких межах – в залежності від хвороб, віку, характеру діючого шуму різниця може перевищувати 30 дБ. Надчутливі до шуму люди складають 30% населення, з нормальною чутливістю – 60%, нечутливі – 10%.

Неоднозначні дані отримані при вивченні впливу шуму відносно низьких рівнів на працездатність. За деякими даними, шум з рівнями до 60-70 дБ навіть поліпшував кількісно-якісні показники розумової діяльності; починаючи з 80 дБ – знижував увагу і зменшував продуктивність праці. Згідно з іншими даними, отриманими при вивченні дозованого (на протязі 1 год) розумового навантаження, уже починаючи з 30 дБ спостерігалось зниження швидкості переносу інформації і погіршення якості виконання роботи. При підвищенні шуму до 60 дБ ці показники знижувались вдвоє порівняно з контрольними значеннями, що вказує на переважання процесів гальмування в корі головного мозку.

Встановлено, що кінцевий результат показників розумової працездатності залежить на тільки від рівнів і тривалості дії шуму, а й від стану нервової системи людини.

Одним із серйозних проявів впливу шуму на організм людини, як свідчать чисельні дослідження, є порушення сну, яке виникає при рівні звукового тиску понад 35 дБ. Так, число пробуджень при рівні 40 дБ складає 55%, а при 70 дБ збільшується до 80%. Дія шуму супроводжується зміною частотою пульсу. На сон впливають інтенсивність шуму, частота виникнення подразника і зміна рівня звукового тиску з часом.

Дослідження впливу шуму на сон людей різного віку не привели до однозначних результатів. Є дані, що шум менше впливає на сон дітей і молодих людей, ніж на людей середнього і похилого віку. За іншими даними, особливо чутливими до шуму є немовлята та діти дошкільного віку.

Існуючі в даний час гранично допустимі рівні акустичного шуму об’єктів РКТ РФ регламентуються постановою Уряду РФ від 01.07.1995 р. і Федеральним законом “Про промислову безпеку небезпечних виробничих об’єктів” від 21.07.1997 р. №116-ФЗ.

Як свідчать дослідження, ступінь впливу шуму залежить від рівня звукового тиску; частотного розподілу шуму та його спектральних нерівномірностей; часу (тривалості) звучання шуму; маршрутів руху

транспортних засобів або польоту літальних апаратів; кількості операцій за добу; виду процедур, що використовуються під час виконання характерних операцій (наприклад, режиму роботи двигунів); складу елементів РКТ; часу доби та року; метеорологічних умов.

Крім того, реакція суспільства на експозицію шуму залежить від використання земельних ділянок і будинків; типу будівельних конструкцій; відстані до магістралі або космодрому; фонового рівня навколишнього шуму, дифракції, рефракції та відбиття шуму навколо будинків залежно від топографічних та метеорологічних умов.

5.7.3. Експериментальні оцінки шуму від елементів РКТ

Під час стендових ракетних двигунів основний вклад в енергію збурень вносить реактивна струмина, що витікає з двигуна. Характеристика направленості шуму ракетного двигуна показана на рис.5.4.

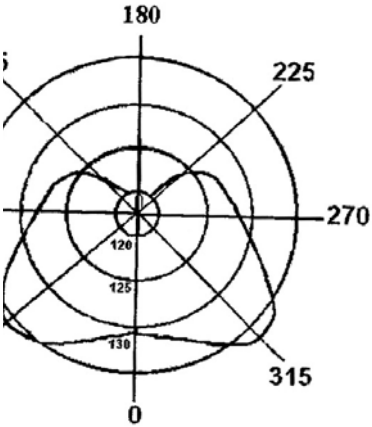


Рис.5.4. Діаграма направленості звукового випромінювання двигуна ракети “Атлас” (рівні звукового тиску в дБ на відстані 300 м)

Максимуми звукового тиску розташовуються в напрямках приблизно 45° до вектора швидкості струми-ни, в протилежних напрям-ках рівні тиску значно нижчі. У двигунів з силою тяги $G=10^5$-10^7 Н коефіцієнт перетворення енергії стру-мини в акустичну складає приблизно 0,5...1%. Залеж-ності рівня звукового тиску і переважаючої частоти від G наведені на рис.5.5.

На рис.5.6. показано зміни рівнів інтенсивності звука для авіаційних і ра-кетних двигунів в залеж-ності від швидкості ви-тікання реактивної трумини [1].

Надзвуковий аеродинамічний потік при цьому створює систему хвиль тиску, яка сприймається як ударна хвиля. Осцилограма надлишкового тиску ΔP від часу для такого удару на

поверхні землі наведена на рис.5.7. Через подібність епюри надлишкового тиску при звуковому ударі з літерою “N” виникаюче збурення називають N-подібною хвилею [23].

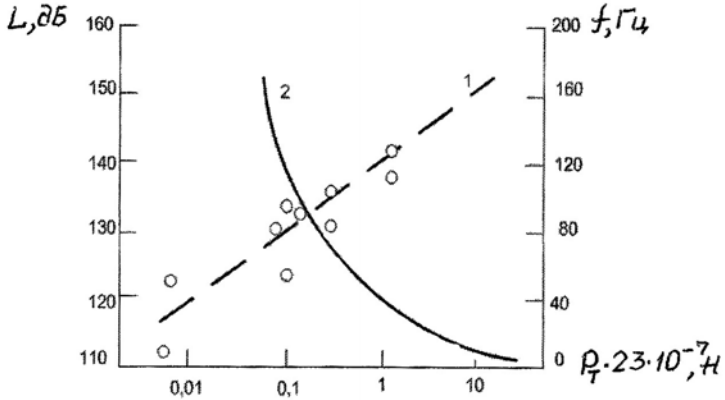
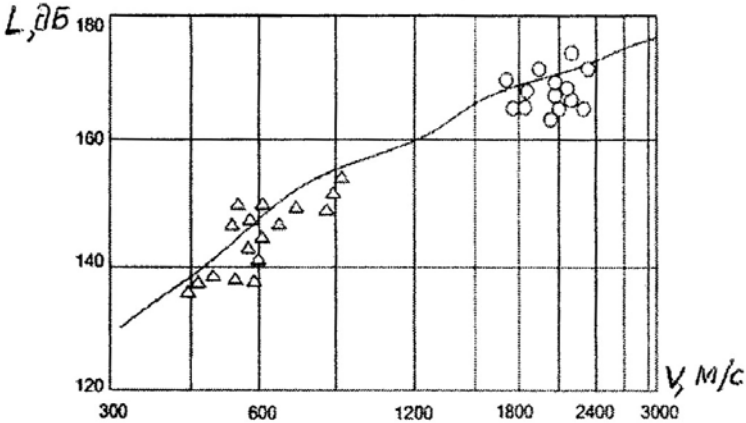


Рис.5.5. Залежність рівня звукового тиску (1) і переважаючої частоти (2) в спектрі сигналу від тяги двигуна на відстані 300 м



5.6. Характерна залежність потужності акустичного випромінювання від швидкості струмини продуктів згоряння реактивних(Δ) та ракетних (о) двигунів

Час τ змінюється звичайно від 1 до 30 мс (середнє значення 10 мс), час $\Delta\tau$ - від 100 до 400 мс. Через істотну розбіжність у часі між двома ударами, людина сприймає їх як здвоєний удар; при

атмосферних збуреннях, а також при наявності на поверхні землі лісонасаджень чи будівель, два звукових удари можуть злитися в один глухий удар чи бути чутними, як кілька ударів підряд. В міру наближення до земної поверхні внаслідок рефракції і підвищення температури звукові ударні хвилі відхиляються у верхні шари атмосфери і у деяких випадках взагалі не досягають земної поверхні.

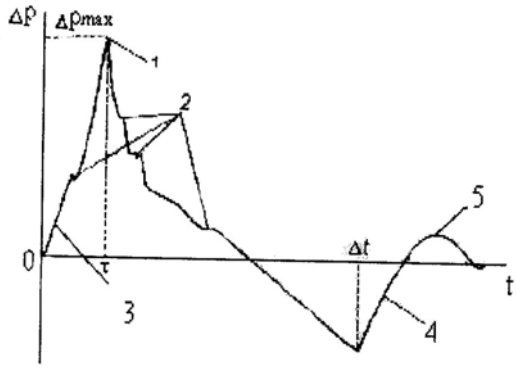


Рис.5.7. N-подібна хвиля зміни надмірного тиску при витіканні продуктів згоряння із двигуна:
1 – пік надлишкового тиску ΔP_{max}; 2 – пульсації тиску; 3 – перший удар; 4 – другий; 5 – загасання.

Сигнали при стендових випробуваннях звичайно реєструються у вигляді трьох груп коливань: сигнал включення, який має форму N-подібної хвилі, сигнал від працюючого двигуна – квазігармонічні коливання тиску з характерним для різних двигунів набором частот; сигнал виключення – з амплітудою приблизно вдвоє більшою, ніж сигнал включення, і дещо більшої тривалості.

В більшості експериментів реєстрація інфразвука при стендових випробуваннях проводилась на відстанях, які не перевищують 10-15 км. Однак є експериментальні дані і для більших відстаней. Так, при випробуваннях двигунів РН “Сатурн-5” вдавалося зареєструвати сигнали на відстанях в декілька сотень кілометрів.

При пусках ракет, крім реактивної струмини, джерелом забруднень після перевищення ракетою швидкості звука стає стрибок ущільнення, який утворюється в повітрі, - “приєднана” (головка) ударна хвиля. Розміри джерела збільшуються з висотою польоту РН. Так, за експериментальними даними при досягненні ракетою “Атлас-103F” висоти 200 км довжина збуреної області

складає ~14 км, а радіус приєднаної хвилі на тій же висоті – біля 1 км.

В першу хвилину після старту рівні шуму на малих відстанях (R≤10-15 км) від старту визначаються тяговими характеристиками двигуна ракети. На рис.5.8 наведені результати вимірювань при запусках РН “Атлас” (G = $1{,}5\cdot10^6$Н) [1]. Максимальним рівням звукового тиску на графіках відповідають приходи збурень під кутом, близьким до максимуму діаграми направленості випромінювання двигуна ракети.

При запусках МТК ‘Space Shuttle’ вздовж траєкторії на відстанях 60 км від старту реєструвалась зона надлишкових тисків до 300 Па, що відповідає рівню звукового тиску Np = 144 дБ.

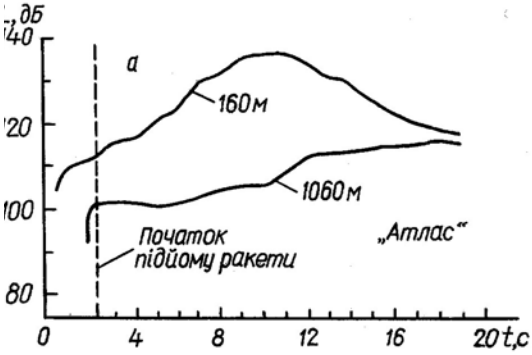


Рис.5.8. Залежність рівня звукового тиску L від часу t (ракети “Атлас”)

Під час посадки корабля “Space Shuttle” аналогічна зона с тиском 100-120 Па утворюється приблизно на відстані 40 км від посадочної смуги і займає площу біля 260 км^2. Іноді поблизу старту удавалось зареєструвати сигнали від другого і наступних ступенів ракети, однак рівні тиску при цьому невеликі. Так, при пуску ракети “Скаут” зареєстровані сигнали від другого і третього ступенів, коли вони знаходились на висоті 40 і 94 км і на відстанях від старту 55 і 170 км відповідно.

Характеристики приладів, які застосовуються найбільш широко при реєстрації ракетних пусків, наведені в табл.5.4.

Таблиця 5.4

Характеристики найбільш поширених приймачів інфразвуку

Назва приладу	Країна-виробник	Смуга частот, Гц	Чутливість, Па	Динамічний діапазон, дБ

Мікробарограф К-304А	Росія	0,02-4,0	0,05	66
Мікробарограф МСМ	Росія	0,02-5,0	0,2	55
Мікрофон ЕС	США	0,3-4,0	0,1	60
Мікрофон Globe	США	0,05-100	0,05	66
Мікрофон LTV-6	США	0,01-3,0	0,1	65
Мікрофон 4147В8К	Данія	0,01-18000	1,0	65
Мікробарограф МВ2000	Франція	0,01-25	0,0025	92

На великих (біля 1000 км) відстанях від стартових площадок більшість експериментальних даних отримано при запусках з мису Канаверал різних РН – “Атлас”, “Титан”, “Сатурн-1”, “Сатурн-5” та ін. Інфразвукові сигнали реєструвались мережею акустичних станцій на материку і на островах в Атлантиці на відстанях до 1500 км від місця старту. Сигнали звичайно складались із декількох хвилевих пакетів тривалістю в декілька хвилин в діапазоні частот 0,1-2 Гц. Із збільшенням тяги двигуна максимуми в спектрах сигналів зміщуються в сторону низьких частот. Послідовність приходів амплітуди і частотний склад сигналів залежить від розташування прийомної станції відносно траєкторії польоту ракети і від метеорологічних умов вздовж траси поширення сигналу. Метеорологічні умови – це сезонні зміни в розподілі швидкостей звука і вітру з висотою атмосфери. Наприклад, в Північній півкулі більш сприятливі умови для поширення інфразвуку на схід від джерела реалізуються в зимовий період, коли на висотах 10-100 км утворюється стійка система вітрів з заходу на схід.

При запусках РН з силою тяги від $2\cdot10^5$ до $3{,}5\cdot10^7$ Н на відстанях 1500 км амплітуди сигналів коливались (в залежності від класу ракети і атмосферних умов) в межах від 0,05 до 2 Па, що не перевищує середньостатистичний природний фон [23].

При польоті із надзвуковою швидкістю ракета випереджає акустичні збурення, випромінювані нею на початкових стадіях польоту. Тому на станціях, розташованих відносно старту в напрямках, близьких до азимуту траєкторії польоту, перша поява сигналу не обов’язково пов’язана із стадією запуску ракети. Сигнал може бути викликаний також падінням на Землю окремих ступенів ракети або приходом збурення зверху більш коротким шляхом порівняно з відстанню між стартом і пунктом реєстрації. Такі сигнали реєструвались на Бермудах при запусках космічних кораблів “Аполлон-12 і –13”.

Ракета-носій в даному випадку пройшла в 55 км на південь від пункту реєстрації на висоті 188 км. Сигнали від падіння ступенів, що відділяються, реєструвались іноді і на станціях, більш віддалених від траєкторії, наприклад, в Палісейдсі на північному сході від місця пуску (R=1500 км).

В цілому основні результати експериментальних досліджень дії РКТ на акустичний фон в приземному шарі атмосфери можна сформулювати наступним чином.

1) Потужні акустичні збурення в атмосфері створюються при стендових випробуваннях і запусках ракет; при відділенні і падінні на землю фрагментів конструкції ракети; при поверненні на землю космічних кораблів багаторазового використання.

2) Джерелом інфразвуку є турбулентні пульсації реактивної струмини продуктів згоряння КРП і "приєднана" ударна хвиля при польоті з надзвуковими швидкостями. Завдяки присутності в атмосфері акустичних хвилеводів інфразвук поширюється на великі (тисячі кілометрів) відстані від джерела, накладаючись на природний фон атмосфери.

3) Поблизу стартових площадок (R=100-1000 м) рівні шуму дуже високі – звукові тиски можуть в сотні разів перевищувати максимальні значення для природного фону атмосфери. Так, при силі тяги двигуна ~ 10^7-10^8 Н вони досягають 150-160 дБ (600-2000 Па). На околиці стартових площадок (десятки кілометрів) при такій потужності двигунів рівні звукового тиску досягають ~ 120 дБ. При наявності приземного інверсійного шару рівні шуму можуть підвищуватись ще на ~ 10 дБ.

4) При запусках МТК "Space Shuttle" на відстанях 40-60 км від старту може утворюватись зона надлишкових тисків до ~ 300 Па (N_p = 144 дБ) площею в декілька сотень км^2. Аналогічна зона з дещо меншими рівнями шуму (P = 2-20 Па, N_p= 100-120 дБ) утворюється при посадці таких кораблів.

5) На великих відстанях 1000-3000 км навіть від самих потужних ракет реєструються лише слабкі інфразвукові сигнали на рівні середнього атмосферного фону, причому в більшості випадків тільки вздовж траєкторії польоту ракети.

5.8. Радіоактивне забруднення

Будь-який непередбачений вхід КА з ЯЕУ в атмосферу або аварія з викидом ядерного палива в процесі виходу КА на робочу орбіту зумовлюють радіоактивне забруднення приземної атмосфери, тропосфери і стратосфери.

До виходу на робочу орбіту ЯР залишається виключеним. Потенційну небезпеку становить ядерне паливо, яке знаходиться в активній зоні – уран-235. Однак питома активність урану дуже мала, всього $2{,}1 \cdot 10^{-3}$ Кі/кг. Це свідчить про те, що навіть при його завантаженні в кількості 1000 кг сумарна активність урану в ЯР буде незначною (одиниці Кі). Природно, що попадання такої активності в НПС не вплине суттєво на радіаційну обстановку.

Непередбачений вхід в атмосферу відбувається з ЯР, який попрацював уже деякий час (чи повний заданий час). При цьому в його активній зоні буде накопичена певна кількість продуктів ділення, сумарна активність яких залежить від теплової потужності ЯР, тривалості його роботи і часу витримки (часу після зупинки ЯР). Значення питомої активності продуктів ділення в залежності від часових характеристик подані в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

Питома активність (Кі/кВт) продуктів ділення в залежності від тривалості роботи ЯР і часу витримки

Час витримки, дні	Тривалість роботи, дні							
	30	60	90	120	150	180	360	720
0	2382	2472	2528	2566	2593	2614	2673	2711
1/24	1434	1534	1593	1630	1657	1678	1737	1775
6/24	933	1033	1091	1128	1155	1177	1235	1273
12/24	759	858	915	953	980	1000	1059	1098
1	599	697	754	790	818	839	897	935
3	393	488	542	578	605	625	683	720
10	219	299	349	382	407	426	480	518
30	105	159	197	224	245	261	309	344
60	57	94	122	142	158	171	211	243
90	38	65	86	101	114	124	158	188

В результаті аеродинамічного нагріву та абляції відбувається згоряння і розсіювання у вигляді часток заданого розміру всієї конструкції, яка входить в атмосферу. Оскільки у всіх конструкціях ЯЕУ радіоактивне паливо розміщується в центрі, оточене конструктивними елементами, перетворювачами енергії і зовнішньою оболонкою, воно згоряє в останню чергу. Воно повинно бути випаровуване до часток мікронних розмірів, які можуть залишатись тривалий час у верхніх шарах атмосфери. Аеродинамічний нагрів відбувається на висотах понад 21 км, на нижчих висотах тіло звичайно охолоджується напором повітря. Коли кількість тепла, яке виділяється в результаті тертя, виявиться достатньою для повного розплавлення холодильника-випромінювача та захисту, ЯР з відбивачем залишається відкритим. Винесення компонентів ЯР буде відбуватись послідовно, в міру їх розплавлення. Відбивач відділяється після того, як розплавляться замки, що його утримують. Після відділення зборки тепловиділяючих елементів відбувається їх повне згоряння і розсіювання часток. Послідовність процесів згоряння КА з ЯР при куті входу в атмосферу 1° показана на рис.5.9.

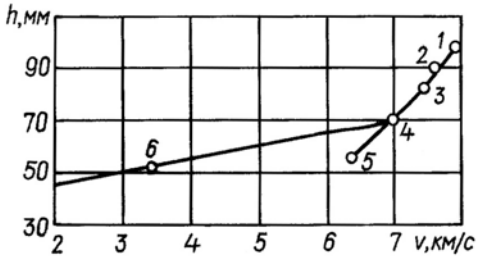


Рис.5.9. Послідовність згоряння елементів ЯР SNAP-10

Згідно з даними рис.5.9. на h≈100 км (1) відбувається розплавлення установки і відділення ЯР (температура біля 1100°С). В діапазоні h≈80-90 км розплавлюються холодильник-випромінювач (2), верхня і нижня частини ЯР з розділенням його на дві половини (3). На висоті 70-80 км плавиться корпус реактора (4), а на h=57 км відбувається повне згоряння тепловиділяючих елементів (5) і розсіювання радіоактивних продуктів ділення. В подальшому плавляться відбивачі (6). При цьому принаймні 95% радіоактивних матеріалів буде розсіяно у вигляді часток з розмірами біля 1мкм. Решта 5% повинні мати розміри від 5 до 10 мкм.

Повне руйнування ЯЕУ і подальше розплавлення радіоактивних продуктів з утворенням часток різних розмірів в значній мірі залежить від конкретних умов, які включають:

– швидкості і кути входу ЯЕУ в щільні шари атмосфери;

– розміри і конструктивні особливості ЯЕУ;

– розміри, форми та хімічний склад тепловиділяючих елементів і їх теплофізичні властивості.

Враховуючи ці обставини, можна передбачити, що діапазон розмірів аерозолів при руйнуванні різних ЯЕУ і навіть однотипних при різних умовах не будуть тотожними. Загальними припущеннями можна вважати наступні:

1) тепловиділяючі елементи при аеродинамічному нагріванні руйнуються на висотах від 35 до 50 км, основним процесом руйнування є випаровування;

2) спектр розмірів аерозолів характеризується дрібно-дисперсною (розмір часток від 1 мкм і менше) і крупнодисперсною (декілька сотень мкм) фракціями, причому на дрібнодисперсну фракцію приходиться 80-90% всієї маси радіоактивних продуктів ділення;

3) потенціальна радіаційна небезпека на земній поверхні визначається довгоживучими ізотопами: стронцієм-90, густина часток 2,54 г/см^3, період напіврозпаду 28,8 років; рутенієм-106, густина 10 г/см^3, період напіврозпаду біля одного року; цезієм-137, густина 1,9 г/см^3, період напіврозпаду 30,2 роки.

Характер радіоактивного забруднення стратосфери, тропо-сфери, приземної атмосфери і земної поверхні визначають час перебування часток в атмосфері від моменту їх утворення до осадження на поверхню Землі і швидкість їх осадження. Чим цей час більший, тим вищий ступінь розсіювання часток і тим менша концентрація їх в приземній атмосфері. Крім того, із збільшенням часу осідання знижується активність часток за рахунок природного радіоактивного розпаду. В результаті підвищується рівень радіаційної безпеки.

Час осідання часток з різних висот наведені в табл.5.6 (частки густиною 10 г/см^3). Як свідчать дані таблиці, внаслідок високих швидкостей осідання важких часток в розрідженій атмосфері час їх осідання з висоти h≈30-50 км практично не залежить від висоти випадіння (запис даних у формі A+a означає $A \cdot 10^{+a}$).

Як показали глобальні експериментальні дослідження випадіння невагомих домішок із мезосфери (40...80 км), час виведення домішки із мезосфери практично не залежить від висоти початкового забруднення в ній, але суттєво залежить від того, в яких широтах відбувалось забруднення цього шару атмосфери – в полярних чи екваторіальних. Вертикальне перемішування шарів повітря на низьких широтах невелике в порівнянні з полярними областями. Період часу, необхідний для осідання половини радіоактивних продуктів із певного атмосферного шару, називається періодом половинного осідання або періодом напівочистки. Результати випробовувань ядерної зброї показали, що середній період перебування мікронних часток в мезосфері (період напівочистки) складає біля 10 років, тобто після 10 років половина спочатку розсіяних часток просочиться в стратосферу на h=38-40 км. Середній час перебування часток в стратосфері залежить від широти місця інжекції, а також від періоду року. Оскільки в полярній стратосфері відбувається більш інтенсивне вертикальне перемішування порівняно з тропічною, загальний час перебування часток в стратосфері на низьких широтах може складати від 5 до 10 років, а в полярних областях – біля одного року. Надходження радіоактивних часток із стратосфери в тропосферу пов'язане з кількома механізмами. Важливе значення має перенос через розриви в тропопаузі в субтропічній зоні. Цей процес досягає максимуму пізньою зимою, зумовлюючи максимальне весняне випадіння радіоактивних часток. Після переходу в тропосферу радіоактивні частки достатньо швидко перемішуються турбулентними потоками і швидко осідають на землю в тій напівкулі, куди вони потрапили. Очищення тропосфери відбувається переважно в результаті сухого осадження і вимивання дощем. Період напівочистки для тропосфери складає біля 30 діб, за деякими даними цей період становить не більше 5 місяців.

Таблиця 5.6

Час осідання часток (с) з густиною 10 г/см^3

Висота, Км	Діаметр, мкм						
	5	10	30	70	100	200	400
5	7,42+5	1,62+5	1,94+4	4,71+3	2,86+3	1,27+3	6,43+2
10	1,52+6	3,19+5	3,67+4	8,73+3	5,26+3	2,30+3	1,15+3

15	2,29+6	4,98+5	5,25+4	1,22+4	7,28+3	3,13+3	1,55+3
20	2,95+6	0,86+5	7,08+4	1,54+5	9,04+3	3,79+3	1,86+3
25	3,46+6	8,49+5	9,19+4	1,89+4	1,07+4	4,35+3	2,10+3
30	3,80+6	9,72+5	1,12+5	2,29+4	1,27+4	4,86+3	2,29+3
40	4,10+6	1,10+6	1,40+5	3,01+4	1,66+4	5,99+3	2,63+3
50	4,15+6	1,14+6	1,52+5	3,42+4	1,90+4	6,85+3	2,93+3

Розрахунок радіоактивного забруднення атмосферних шарів здійснюється на основі “резервуарних” моделей, які враховують кінетику складного турбулентного процесу обміну повітряних мас в атмосфері [1]. За цими моделями вся атмосфера поділяється на кілька характерних шарів, кожний з яких характеризується своїм періодом напівочистки радіоактивної домішки, що туди потрапила. Моделі подаються у вигляді системи диференціальних рівнянь, які описують шарову зміну швидкості зниження активності в залежності від періоду напівочистки шару і періоду напіврозпаду радіоактивної домішки:

$$\frac{dA_1}{dt} = -k_1 A_1 - лA_1; \tag{5.45}$$

$$\frac{dA_2}{dt} = k_1 A_1 - k_2 A_2 - лA_2; \tag{5.46}$$

$$\frac{dA_3}{dt} = k_2 A_2 - лA_3. \tag{5.47}$$

Тут A_1, A_2, A_3 – концентрації радіоактивних домішок відповідно в стратосфері, тропосфері і на поверхні Землі; k_i – константи напівочистки відповідного шару, k_i=0,693/T_i, де T_i – періоди напівочистки шару; λ – стала радіоактивного розпаду.

Таким чином, радіоактивне забруднення атмосфери, а згодом і земної поверхні визначається дисперсним складом аерозолів, що утворюються при вході в атмосферу радіоактивних об’єктів. Зважені “невагомі” аерозолі забруднюють зовнішнє середовище глобально, поширюючись із мезосфери на обидві півкулі. Це забруднення залежить від області (полярної чи екваторіальної) руйнування космічної ЯЕУ. Оскільки осідання зважених аерозолів триває декілька десятків років, недоцільно оцінювати радіаційну безпеку від випадання короткоживучих

нуклідів продуктів ділення, - вони практично повністю розпадуться, не досягнувши земної поверхні. Тому найбільш важливо визначити дози зовнішнього і внутрішнього опромінювання, зумовлені довгоживучими ізотопами цезію і стронцію. Якщо врахувати, що ці нукліди знижують свою активність за рахунок природного розпаду приблизно в 10 раз за 100 років, то очевидно, відбувається накопичення цих елементів. Тому при багаторазовому вході ЯЕУ в атмосферу слід розглянути проблему радіоактивних забруднень і визначати, скільки їх допустимо за 10, 50, 100 і більше років.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень радіаційної небезпеки КА з ЯЕУ можна зробити найбільш важливий принциповий висновок – необхідно виключити вхід в атмосферу Землі космічних об'єктів з ядерними енергетичними установками.

Іонізуюче випромінювання впливає на людину зовнішньо, внутрішньо і змішано, тому заходи захисту залежно від інтенсивності і типу випромінювання можуть бути різними. У всіх випадках комплекс захисних заходів повинен забезпечити зниження сумарної дози від усіх джерел до рівня, що не перевищує гранично допустиму дозу [24].

5.9. Випадіння кислотних опадів при експлуатації РКТ

Як відзначалось, кислотність опадів визначається водневим показником pH. Для прогнозування кислотності можливих опадів РН і їх дії на космодром та прилеглі території необхідно мати уявлення про ступінь екологічної небезпеки тих чи інших рівнів кислотності опадів [25]. Постійним природним фоном атмосфери вважається значення pH=5,6 (середовище, близьке до нейтрального, яке визначається pH=7,0 – для дистильованої води). Цей фон зумовлений наявністю в атмосфері CO_2. Для Європи середнє значення кислотності атмосфери складає pH≈4,5, для скандинавських країн – pH≈4,0, для США – pH≈4,0-5,0. Дослідження впливу кислотних дощів на городні культури показали, що аж до нижньої межі pH=3,5-3 зниження урожайності несуттєве. Більш суттєвою є дія кислотних дощів в початковий період розвитку рослин. Разове випадіння дощу навіть при відносно сильній його кислотності (до pH=2,0) не призводить до загибелі рослин. Основною є більш тривала дія кислотних дощів на зміну кислотності грунтів. Однак цей вплив може бути ліквідованим при наявності в грунті вапняку, який здійснює нейтралізуючу дію.

Згубним є вплив кислотних дощів на флору і фауну закритих прісних водойм (озер) у тих випадках, коли грунти або ложі водойм бідні на вапняк. В прісних озерах навіть незначне підвищення кислотності води викликає масову загибель фауни.

Підвищення кислотності грунтів є умовою вивільнення (переходу в склад розчинних сполук) іонів важких металів, які є отрутами не тільки для багатьох рослинних і тваринних організмів, але й для людини. Іони важких металів чинять (через зміну структури грунтів, знищення нижчих представників флори і фауни) згубну дію на кореневу систему дерев, переважно хвойних (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Характеристика впливу кислотності опадів на рослинність

Показник кислотності	Негативні наслідки
,6	Усихає хвоя Часткове пошкодження клітин листя і хвої. Засихають молоді початки ячменю, люцерни, капусти, огірків, картоплі тощо “Опікове” ураження рослинності

Нарешті, при випадінні кислотних опадів руйнуються стальні та алюмінієві конструкції, резервуари і обладнання, оскільки різко прискорюється корозія металів, руйнуються споруди із вапняку і піщаника. Подібний негативний вплив кислотних дощів спостерігається при тривалій дії.

Для коректного визначення кислотності дощу необхідно враховувати вплив принаймні восьми видів іонів: трьох аніонів, активізуючих кислоту (сульфату, нітрату, хлориду), і п’яти катіонів, нейтралізуючих кислоту (калію, натрію, магнію, кальцію, амонію) [26].

Основна причина можливого випадіння кислотних дощів (утворення туманів) під час експлуатації РКТ – це викиди діоксиду сірки (SO_2), оксиду азоту (NO) і хлористого водню (HCl).

Окис азоту при попаданні в атмосферу взаємодіє з киснем повітря (особливо швидко проходить ця реакція при охолодженні), утворюючи діоксид азоту (NO_2):

$$2NO+O_2 \rightarrow 2NO_2,$$

який вступає в реакцію з водою, яка знаходиться в атмосфері і викидається з продуктами згоряння, утворюючи сильну азотну (HNO_3) і слабку азотисту (HNO_2) кислоти:

$$2NO_2+H_2O \rightarrow HNO_3+HNO_2$$

Азотиста кислота через свою нестабільність швидко розкладається, утворюючи азотну кислоту:

$$3HNO_2 \rightarrow HNO_3+2NO+H_2O$$

Сумарне рівняння утворення азотної кислоти з NO виглядає наступним чином:

$$4NO+3O_2+2H_2O \rightarrow 4HNO_3$$

Хлористий водень добре розчинюється в атмосферних парах води, утворюючи сильну соляну кислоту.

Діоксид сірки також добре розчинюється в водяних парах атмосфери (біля 40 об'ємів в 1 об'ємі при 20°С); при цьому частково проходить реакція з водою з утворенням сірчистої кислоти:

$$SO_2+H_2O = H_2SO_3$$

Сірчиста кислота, поглинаючи кисень із повітря, повільно окислюється в сірчану кислоту:

$$2H_2SO_3+O_2 = 2H_2SO_4$$

Сумарне рівняння утворення сірчаної кислоти із SO_2 записується таким чином:

$$2SO_2+2H_2O+O_2 = 2H_2SO_4$$

Утворені викидами діоксиду сірки, окису азоту і хлористого водню кислоти (сірчана, азотна і соляна) дисоціюють з утворенням позитивного заряджених іонів водню, які і визначають кислотність середовища. При цьому дисоціація азотної і соляної кислот проходить в одну стадію

$$HNO_3 = NO_3^- + H^+,$$

$$HCl = Cl^- + H^+.$$

Сірчана кислота – двохосновна кислота, тому її дисоціація проходить в два ступені:

$$\text{I. } H_2SO_4 = HSO_4^- + H^+,$$

$$\text{II. } HSO_4^- = SO + H^+.$$

Найбільш небезпечним з точки зору дії на НПС є "сухе" осадження кислот та їх солей, які знаходяться в хмарі викидів, оскільки при дії атмосферних опадів ("мокре" осадження)

відбувається вимивання цих кислот та їх солей (“розбавлення” їх концентрації), в результаті чого знижується рівень кислотності атмосферних водяних парів.

6. ВПЛИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА ОЗОНОВИЙ ШАР ЗЕМЛІ

Роль озону в захисті біосфери усвідомлено нинішнім поколінням людського суспільства, однак природа потурбувалась про це мільярди років тому. Озон утворюється в атмосфері на висоті 30-50 км. До висоти 90 – 100 км, в так званому гомошарі, відносний склад основних компонентів атмосфери не змінюється. Шар атмосфери від 30 км до 90 км називається хемосферою через протікаючі в ньому хімічні і фотохімічні реакції практично між всіма компонентами. В залежності від процесів, які протікають в тому чи іншому шарі, атмосферу Землі поділяють на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу, іоносферу (рис.6.1).

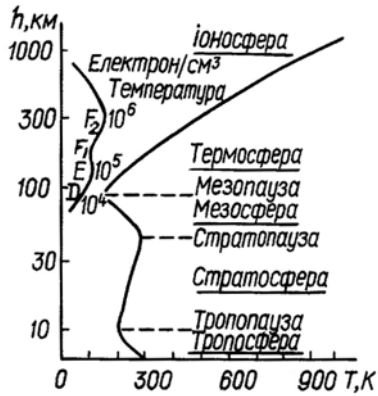


Рис.6.1. Структура атмосфери

Границі між шарами називаються відповідно тропопаузою, стратопаузою, мезопаузою, іонопаузою [27].

До стратосфери відноситься шар з нижньою границею 10 км в полярних широтах і 18 – в екваторіальних і верхньою границею приблизно в 50 км.

В області випромінювань 290-170 нм до висоти приблизно 50 км (границя стратосфери - стратопауза) протікають реакції фотоіонізації молекул O_2 з утворенням атмосферного кисню, який взаємодіє з молекулами O_2, утворюючи молекули озону:

$$O_2 + O = O_3$$

В результаті в атмосфері на висоті 20-25 км, а за деякими даними – на 30-50 км, утворюється озоновий шар з максимальною концентрацією озону $10^{12} - 10^{13}$ молекул/см^3

Озон – важлива складова атмосфери, яка інтенсивно поглинає ультрафіолетове випромінювання Сонця в верхній і середній атмосфері, сприяючи нагріву стратосфери і формуванню вертикального розподілу температури. Зміна температури спричинює суттєві збурення атмосфери і циркуляцію атмосфери. Озон, незважаючи на відносно малу його кількість, має велике значення в формуванні ультрафіолетового режиму на поверхні Землі. Так, зниження загального вмісту озону внаслідок природних або антропогенних причин на 1% може привести до збільшення кількості захворювань раком шкіри на 2%. В той же час збільшення концентрації озону в нижніх шарах тропосфери спричинює токсичну дію на рослинність, органи дихання людини і тварини.

Все це свідчить про необхідність і важливість дослідження дії на озон ракетно-космічної техніки, як одного із можливих антропогенних джерел його руйнування.

6.1. Механізми руйнування озону при запусках ракет

Існує кілька механізмів дії запусків РН на озон, які мають різну природу.

Один з них пов'язаний з розігрівом повітря в факелі РД і в головній ударній хвилі, яка утворюється при польоті РН. Враховуючи невеликий потенціал дисоціації O_2, можна чекати помітного його руйнування.

Основний вплив на озон при запусках РН здійснюють озоноактивні компоненти в струмені продуктів. Ракети викидають значно меншу кількість цих компонентів в порівнянні з відомими наземними джерелами забруднень (наприклад, викидами промислових підприємств). Однак , на відміну від них продукти згоряння РН надходять безпосередньо в стратосферу без трансформації і вимивання в тропосферу.

Вплив на стратосферний озон продуктів згоряння різних ракетних палив визначається окисом азоту і порівняно малими кількостями озоноактивних компонентів – окису вуглецю, вільних радикалів і атомів (OH, H, O, N), які містяться в цих паливах. В продуктах згоряння твердих ракетних палив міститься за масою до 20% хлору і його сполук, до 50% аерозолю окису алюмінію (більш докладно склад продуктів згоряння було розглянуто в розділі 2). Ракети викидають велику кількість газів, частина яких викликає руйнування озону (окисли азоту NO_x, хлорні сполуки), а деякі можуть стримувати його руйнування (водяна пара, вуглекислий газ, метан) за рахунок перетворення руйнуючих агентів в неактивну фракцію. При цьому останні, які містяться в великих кількостях в продуктах згоряння як рідких, так і твердих палив, є радіаційно-активними і можуть впливати на тепловий режим атмосфери.

При викидах NO_x відбувається інтенсивне руйнування озону в області висот від 18 до 37 км, наприклад, за рахунок таких каталітичних реакцій:

$$NO + O_3 \rightarrow N_2 + O_2,$$

$$NO_2 + O_3 \rightarrow NO_3 + O_2,$$

$$NO_3 + h\nu \rightarrow NO + O_2,$$

$$2O_3 \rightarrow 3O_2$$

При викидах H_2O і H_2 в атмосферу:

$$H_2O + O \rightarrow OH + OH,$$

$$H_2 + O \rightarrow OH + H$$

відбувається руйнування озону, за рахунок таких каталітичних циклів:

$$OH + O_3 \rightarrow HO_2 + O_2$$

$$HO_2 + O_3 \rightarrow OH + 2O_2$$

$$- - - - - - - - - - - - -$$

$$2O_3 \rightarrow 3O_2$$

або

$$OH + O_3 \rightarrow HO_2 + O_2,$$
$$HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2,$$
$$H_2O_2 + h\nu \rightarrow OH + OH.$$
$$- - - - - - - - - - - - - - -$$
$$2O_3 \rightarrow 3O_2$$

В цьому випадку найбільш інтенсивно озон руйнується в тропосфері h<10-14км і верхній стратосфері h>35км.

При викидах HCl в результаті реакцій з утворенням Cl:

$$HCl + h\nu \rightarrow H + Cl,$$
$$HCl + O \rightarrow OH + Cl,$$
$$HCl + OH \rightarrow H_2O + Cl.$$

відбувається руйнування озону за рахунок наступних каталітичних циклів:

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2,$$
$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2.$$
$$- - - - - - - - - - - -$$
$$O + O_3 \rightarrow 2O_2$$
$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2,$$
$$OH + O_3 \rightarrow HO_2 + O_2,$$
$$ClO + HO_2 \rightarrow HOCl + O_2,$$
$$HOCl + h\nu \rightarrow OH + Cl.$$
$$- - - - - - - - - - - - -$$
$$2O_3 \rightarrow 3O_2.$$

На хлорний каталітичний цикл руйнування озону суттєво впливають викиди NO_2:

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2,$$
$$ClO + NO_2 \rightarrow ClONO_2,$$

$$ClONO_2 + h\nu = Cl + NO_3,$$
$$NO_3 + h\nu \rightarrow NO + O_2,$$
$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2.$$
$$- - - - - - - - - - - - - - -$$
$$2O_3 \rightarrow 3O_2$$

Останні цикли свідчать про важливість врахування взаємодії між компонентами продуктів згоряння, що викидаються, і в цілому про складність механізмів дії на озон.

Окисли вуглецю, які містяться в продуктах згоряння ракетного палива, здатні зменшити ступінь зниження кількості озону в стратосфері і збільшити його концентрацію в тропосфері. При викидах Cl_2 за рахунок сильного зворотного температурного зв'язку може спостерігатись суттєве збільшення O_2 на високих h> 30км. Крім того, при викидах CO_2, при фотолітичному утворенні CO із CO_2, який також міститься в продуктах згоряння, при значних викидах NO_x може відбуватися ефективне збільшення озону в тропосфері і нижній стратосфері за рахунок такого каталітичного циклу:

$$CO + OH \rightarrow CO_2 + H,$$
$$H + O_2 + M \rightarrow HO_2 + M,$$
$$HO_2 + NO \rightarrow NO_2 + OH,$$
$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O,$$
$$O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M.$$
$$- - - - - - - - - - - - - - - -$$
$$CO + 2O_2 \rightarrow CO_2 + O_3$$

Тут M – частка, яка приймає участь у перерозподілі енергії при зіткненні молекул.

Із наведених каталітичних циклів руйнування озону видно, що характер і зміна кількості O_2 при запусках ракет суттєво залежать від складу і кількості викидів компонентів продуктів згоряння, а також від умов викиду (висоти, часу доби тощо.) під дією атмосферної турбулентності і вітрів газоподібні компоненти продуктів згоряння перемішуються з навколишнім повітрям, руйнують присутній в ньому озон. Одночасно турбулентні вихори і вітри приносять з навколишнього повітря озон, який поступово заповнює утворену зону із зниженим вмістом O_3. Сумісна дія на стратосферу дифузії і фотохімії – складний процес і може бути розрахований на складних математичних моделях.

Як відмічалось, в продуктах згоряння твердих ракетних палив крім газоподібних компонентів містяться аерозольні частки Al_2O_3 і $AlCl_x$, вплив яких також треба враховувати при розгляді поведінки озону в таких умовах.

Потенційним джерелом руйнуючої дії на O_3 можуть бути дрібні частки Al_2O_3, вміст яких в викидах твердопаливних ракет досягає приблизно 30% за масою. Ці частки залишаються в атмосфері на протязі декількох днів і завдяки своїй гідрофільності служать центром конденсації парів води.

В одній з перших робіт, присвячених цьому питанню розглянуто вплив аерозольних часток Al_2O_3, які викидаються в нижню стратосферу, на зміну оптичної товщі сонячного випромінювання, дисоціюючого озону. Показано, що можливе зменшення O_3 в результаті зміни потоків сонячного випромінювання навіть при значному збуренні оптичної товщі незначне як за абсолютними значеннями, так і в порівнянні з іншими джерелами його руйнування при запусках ракет.

В роботах [28, 29] виконана оцінка аерозольного циклу руйнування озону при запусках твердопаливних ракет. Швидкість гетерогенної реакції озону на поверхні часток Al_2O_3 розраховувалась за відомою формулою:

$$d[O_3]/dt = -(8RT/\pi\mu)^{0,5} \cdot \gamma S_o [O_3]/4. \qquad (6.1)$$

Тут R – універсальна газова стала; T – температура; μ - молярна маса озону; γ - коефіцієнт прилипання, який визначає ймовірність розпаду молекули O_3 при зіткненні з поверхнею; S_0 – поверхня часток в одиниці об'єму атмосфери.

Значні невизначеності пов'язані з величинами γ і S_0. За даними лабораторних вимірювань розпаду O_2 на окислах металів $\gamma = (2{,}3 \div 8{,}8) \cdot 10^{-5}$ в інтервалі T = 295-209,5 K. В деяких оцінках [29] використано значення $\gamma = 5 \cdot 10^{-5}$ при розгляді локального ефекту і $\gamma = 10^{-5}$ - для регіонального і глобального ефектів.

Деякі літературні джерела [28] дають верхню оцінку $\gamma = 10^{-3}$. Складності виникають і при визначенні питомої поверхні аерозольних часток S_0, яку можна визначити через масу M часток в одиниці об'єму:

$$S_0 = (3M / \rho) r_2^2 / r_3^3 = (3M / \rho) / r \qquad (6.2)$$

Тут r_2 і r_3 – відповідно середній квадратичний і середній кубічний радіуси; ρ - густина часток. В [29] при розрахунку S_0 припускалось, що частки Al_2O_3 сферичні і їх радіус приймався таким, що дорівнює 0,1 мкм при оцінці локального ефекту, й 0,5 мкм – при оцінці регіонального і глобального ефектів. В деяких роботах взято радіус часток r= 0,46 мкм, що відповідає результатам натурних вимірювань згідно з якими r_2 = 0,46 мкм і r_3= 0,54 мкм.

У відповідності з розрахунками, навіть при завищеному коефіцієнті прилипання O_3 до аерозольних часток вклад цього механізму в загальне руйнування озону при запусках ракет незначний.

У результаті гетерогенних реакцій, протікаючих на поверхні полярних стратосферних хмар або на сульфатних аерозольних частках вулканічного походження, відбувається активація хлору (перехід із неактивної форми $ClONO_2$ в активну Cl_2, яка при подальшому швидкому фотолізі дає атомарний Cl) і перерозподіл в сімействі непарного азоту за рахунок перетворення активної форми NO_x (NO, NO_2, NO_3, N_2O_5) в неактивну HNO_3, що приводить до підсилення хлорного циклу руйнування озону і до значного

зниження кількості озону в полярних областях (так звані "озонові дірки") і зменшення озону після вулканічних вивержень.

6.2. Вплив на озон факела РД і головної ударної хвилі

При польоті в стратосфері повітря в факелі ракетного двигуна і в головному стрибку ущільнення суттєво розігрівається. Оскільки озон має невеликий потенціал дисоціації (біля 1), слід чекати помітного термічного руйнування O_3. Крім того, в продуктах згоряння компонентів ракетного палива достатньо великі концентрації речовин, що впливають на озон.

Ракета летить з гіперзвуковою швидкістю, маючи дуже складні поля течії і структуру самої реактивної струмини. Коректна оцінка впливу на озон факела і головної ударної хвилі надто кропітка робота, яка потребує детального знання розподілу температури і густини повітря, а також концентрацій продуктів згоряння у всій збуреній області простору.

Знаходження загальної кількості O_3, зруйнованого в факелі ракети і головній ударній хвилі, зводиться практично до оцінки об'єму еліпсоїда, яким можна апроксимувати збурену область навколо ракети, що рухається.

Знаючи об’єм еліпсоїда V і використовуючи типові розподіли концентрації озону з висотою в незбуреному середовищі, можна оцінити кількість зруйнованого озону.

Результати цієї оцінки на h=20–30 км для двох типів двигунів РН “Протон” і “Спейс-Шаттл”, отримані за припущення, що довжина траєкторії польоту ракети $L_T \approx 20$ км, наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Характеристики факела РН і кількість зруйнованого озону

Тип РН	h, км	Довжина факела	Діаметр “тунелю”	V, м^3	$\sum [O_3]$, кг

	20	19,46	18,35	$5,0 *10^3$	
“Протон”	25	28,7	25,35	$1,46*10^4$	1,95
	30	41,46	31,68	$3,6*10^4$	
“Спейс-Шаттл”	20	42,9	37,8	$4,86*10^4$	
	25	63,4	55,9	$1,57*10^5$	9,51
	30	91,8	81,0	$4,76*10^5$	

Як свідчать дані табл.6.1, найбільш важливий параметр – діаметр збуреної області з практично повним руйнуванням O_3(“тунель”) вздовж траєкторії польоту ракети. Його розміри змінюються від ~20 до ~80 м. Як видно з табл.6.1, запуск системи “Спейс-Шаттл” приводить до значно більшого руйнування O_3 (приблизно в 10 разів). Однак в цілому руйнування O_3 в головній ударній хвилі і факелі ракетних двигунів в обох РН можна вважати незначними, якщо враховувати, що в вертикальному стовпі атмосфери площею 1 км^2 в даному діапазоні висот при тих же значеннях $[O_3](h)$ міститься ~800 кг O_3.

Виконані оцінки з урахуванням вказаних вище припущень слід вважати максимальними. З другого боку, в умовах реального польоту РН розміри “тунелю” можуть бути дещо більшими. Головну роль тут грають надто високі концентрації компонентів продуктів згоряння, руйнуючих озон.

6.3 Дія продуктів згоряння ракетних палив на стратосферний озон

Газоподібні продукти згоряння ракетних палив, які викидаються в атмосферу, через відсутність у стратосфері ефективного перемішування можуть залишатись в ній на протязі тривалого часу і завдяки повітряним течіям впливати на озон в районах, надто віддалених від місця ракетних пусків.

Для моделювання дії ракетних викидів на озон, яка може бути як локальною, так і глобальною, використовуються різні моделі, що оптимальним чином описують протікання процесів:

1) Від декількох хвилин до декількох годин (локальна дія).

2) Від декількох діб до декількох тижнів (регіональна дія).

3) Від одного до декількох місяців (зональна дія в межах обмеженого широтного поясу).

4) Від декількох місяців до декількох років (глобальна дія).

6.3.1. Локальна дія пусків РН на стратосферний озон

Для оцінки локальної дії викидів окремих РН на стратосферний озон використовуються дифузійно-фотохімічні і “боксові” фотохімічні моделі [1].

В математичних моделях нульової розмірності, які часто називають “боксовими”, враховуються тільки фотохімічні процеси, а об′єм вважається повністю перемішаним і однорідним. Для дослідження поширення викиду продуктів згоряння ці моделі використовуються в ускладненому вигляді.

Для оцінки локальних дій пусків ракет на озоносферу часто використовуються одномірні осесиметричні моделі, вісі яких співпадають з віссю струмини продуктів згоряння. Оскільки струмина продуктів згоряння є неперервне, лінійне джерело домішки, то, розв′язуючи рівняння для розподілу концентрацій вздовж нормалі до осі струмини в декількох послідовних перерізах, можна отримати сумарний розподіл концентрації домішки та її окремих компонентів, близький до тримірного. Під дією зносу продуктів згоряння вітром, скоро після пуску ракети струмина продуктів згоряння і траєкторії ракети перестають співпадати.

Фотохімічні блоки моделі включають звичайно сімейства кисню O_x, водню HO_x (H, H_2,OH, HO_2, H_2O_2), азоту NO_x (N, NO, NO_2, NO_3, N_2O_5, HNO_2, HNO_3, HO_2NO_2), хлору ClO_x (Cl, ClO, HCl, HClO, $ClONO_2$),а також реакції окислення окису вуглецю, сімейств інших малих газових складових, наприклад, бром, йод.

Для оцінки локального впливу пусків РН на озон важливе значення має коефіцієнт турбулентної дифузії K_r, який визначає як швидкість зменшення локальної концентрації продуктів згоряння, так і швидкість збільшення площі, на якій відбуваються процеси руйнування і відновлення озону.

При моделюванні локального впливу продуктів згоряння на озон використовувались за різними джерелами незалежні від часу (постійні)

значення K_r=2*10^{10} $см^2$/с або K_r = 2,5*10^9 $см^2$/с, близькі до глобальної границі турбулентної дифузії. Однак використання таких великих значень K_r приводить до дуже малого часу значення зменшення концентрації домішки вздовж осі циліндра (~1,2*10^{-4} с в першому випадку і ~9,5*10^{-4} с – в другому), що суперечить візуальним та інструментальним спостереженням, які показують, що струмина продуктів згоряння твердопаливних ракет добре помітна на протязі декількох хвилин. На основі статистичної теорії отримано для масштабу збурення ~10 м значно менше значення K_r = 7*10^5 $см^2$/с, яке приводить до більш реальних часів існування струмини [1].

В ряді моделей використовується залежний від часу коефіцієнт дифузії, який є результатом сукупних спостережень і описується емпіричною формулою:

$$K_r(t) = \beta t^{\alpha} \qquad (6.3)$$

з параметрами β = 7,8887, α= 1,62 в роботах [28–31], β = 6,5, α = 1,6 в роботі [32].

Для ілюстрації локального впливу продуктів згоряння на озон на рис.6.2 показана зміна в часі границь кругової зони з концентрацією O_3 менше 90% від фонового значення при пусках ракети “Протон”, розрахована для різних висот за однорівневою осесиметричною моделлю [28] з використанням найбільш обґрунтованих даних про склад та викиди продуктів згоряння.

Як свідчать графіки, ефект дії продуктів згоряння збільшується з висотою. Розмір зони на різних висотах складним чином залежить від інтенсивності турбулентного перемішування і швидкості руйнування озону, яка визначається складом продуктів згоряння, швидкістю реакції і складом фонової (незбуреної) атмосфери.

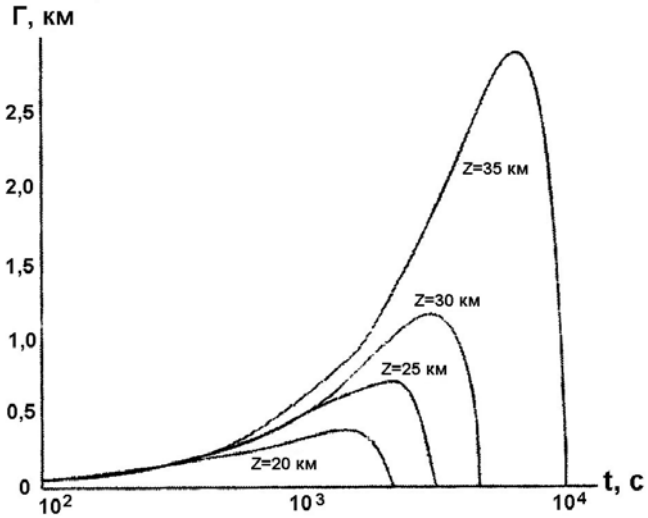


Рис 6.2. Залежність від висоти та часу радіуса r зони з концентрацією озону менше 90 % від фонової для ракети “Протон” на різних висотах

Фотохімічне руйнування озону відбувається в порівняно вузькій кільцевій області, в якій турбулентна дифузія перемішує продукти згоряння з навколишньою атмосферою, яка містить озон. З часом швидкість руйнування O_3 внаслідок зниження концентрації озоноактивних компонентів зменшується. Одночасно завдяки збільшенню з часом коефіцієнта турбулентної дифузії розширюється зона, в якій відбувається руйнування озону. В підсумку це приводить до збільшення загальної кількості озону, який руйнується за одиницю часу.

Хоча основну роль в руйнуванні озону при запусках рідинних РН грають окисли азоту, однак руйнуючий потенціал продуктів згоряння залежить від вмісту в них сполук водню. Гідроксил OH і пергідроксил HO_2, які утворюються при взаємодії великих кількостей атомного водню з навколишнім повітрям, взаємодіючи з окислами азоту NO і NO_2, перетворюють їх в резервуарні сполуки HNO_2, HNO_3 і HO_2NO_2, які не реагують з озоном, знижуючи цим швидкість його руйнування. Завдяки тому, що відносний вміст водневих сполук в продуктах згоряння ракети

“Енергія” вищий, ніж у “Протона”, і вони переводять в неактивні форми більшу кількість окислів азоту (22% порівняно з 8% для “Протона”), продукти згоряння РН “Протон” інтенсивніше руйнують озон.

Процеси переводу озоноактивних компонентів в резервуарні сполуки відбуваються і в продуктах згоряння ракети “Спейс Шаттл”. При цьому вони ускладнюються присутністю сполук хлору. Згідно з даними роботи [28], в резервуарні сполуки перетворюється ~77% окислів азоту і ~99,5% хлору, який міститься в продуктах згоряння, в тому числі ~99% в HCl і 0,5% в HOCl. Хоча у вигляді озоноактивних сполук хлору (Cl, ClO), за оцінками [28], міститься всього ~0,5% хлору, проте завдяки його великій кількості в продуктах згоряння твердопаливних ракет саме він руйнує озон [33].

Слід відмітити, що при розрахунках зміни повного вмісту озону в стовпі атмосфери необхідно враховувати відхилення траєкторії ракети від вертикалі, а також зміну швидкості вітрового зрушення з висотою. В такому випадку зміна повного вмісту озону в стовпі при запусках ракет набагато менша змін локальних концентрацій O_3. За оцінками, виконаними в роботі [33], при швидкості вітрового зрушення ~ 1м/с на 1км висоти максимальне зниження повного вмісту O_3 в стовпі атмосфери з основою 1,6 х 1,6км не перевищує 6-7% на протязі 0,5-1 години після пуску ракети “Спейс Шаттл”. Для реєстрації такого локального зменшення повного вмісту O_3 необхідна апаратура з високою чутливістю.

6.3.2. Регіональна і зональна дії на озон продуктів згоряння ракетних палив

Продукти згоряння ракетних палив можуть мати великі періоди “життя”, тому їх дія може тривати довго в міру подальшого перемішування і переносу повітряними потоками. Ракетний слід на стратосферних висотах приблизно через тиждень перетворюється в хмару розміром декілька сотень кілометрів, яка під дією зональних вітрів зміщується (в залежності від сезону) в західному чи східному напрямку, несуттєво відхиляючись від початкової широти. В періоди весняної і осінньої перебудови стратосферної циркуляції, коли вітер у стратосфері слабкий, хмара продуктів згоряння може залишатись практично нерухомою і відносно компактною,

розширюючись лише за рахунок макротурбулентного перемішування.

Для розрахунку зміни концентрацій в хмарі продуктів згоряння можна використати одномірну фотохімічну модель, яка в цьому випадку повинна включати більшу кількість газових складових атмосфери, ніж при дослідженні локальних ефектів, враховувати зміни температури стратосфери і тропосфери у зв'язку із зміною їх складу під впливом викидів ракет, а також враховувати вертикальне перемішування в хмарі [32].

Регіональна дія ракети “Спейс Шаттл”, якщо не враховувати зрушення вітру з висотою, зумовлює зниження загального вмісту озону в вертикальному стовпі діаметром 550 км через 24 дні при одиничному пуску ~ 2%, а при пуску 12 ракет – ~ 8%.

Для оцінок регіональної дії РН ”Енергія” на озон в роботі [32] взяті завищені майже на порядок викиди NO, але навіть при таких великих викидах основного озоноруйнівного компонента максимальне зниження O_3 на h=24-30км через 24 дні після пуску ракети на широті 45ºN не перевищує ~ 4 %, а зменшення загального вмісту в вертикальному стовпі діаметром 550км складає ~1,5 %. Одночасне утворення озону в тропосфері при пусках “Енергії” дещо більше, ніж при пусках “Спейс Шаттла”: збільшення O_3 може досягати ~ 4,5% при одиничному пуску і ~ 11% при пуску 12 ракет.

Утворення озону в тропосфері дещо компенсує збільшення УФ-радіації біля земної поверхні через зниження кількості стратосферного озону. Однак, враховуючи шкідливі наслідки для природи і клімату Землі збільшення концентрації тропосферного O_3, слід визнати роль запусків ракет в цьому відношенні негативною.

6.3.3. Глобальна дія на озон продуктів згоряння ракетних палив

Продукти згоряння ракетних палив під дією вітру, зональної і меридіональної циркуляції, крупномасштабних і мезомасштабних вихорів будуть поширюватись на всю атмосферу. Глобальний ефект дії пусків РН на озоновий шар можна досліджувати за допомогою двомірних радіаційно-фотохімічних моделей, які враховують просторово-часову неоднорідність динамічних,

фотохімічних і термічних процесів. При цьому звичайно враховуються зворотні радіаційні та інші позитивні і негативні зворотні зв'язки. При моделюванні впливу регулярних пусків РН на атмосферний озон, враховуючи незначний рівень їх впливу порівняно з іншими антропогенними факторами, часто використовують спрощені моделі, нехтуючи тими чи іншими факторами.

Двомірна радіаційно-фотохімічна модель атмосфери заснована на традиційній К-теорії турбулентного перемішування і турбулентного теплообміну [1]. Просторово-часові зміни складу малих газових складових атмосфери описуються системою зонально усереднених рівнянь неперервності:

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + \frac{\partial \theta_{iz}}{\partial z} + \frac{1}{\cos\varphi}\frac{\partial}{\partial y}\left(\cos\varphi \cdot \theta_{iy}\right) = P_i - L_i\,, \qquad (6.4)$$

де y – горизонтальна координата (вздовж меридіану); φ - широта; P_i, L_i – відповідно фотохімічні джерела і стоки; θ_{iz} і θ_{iy} - відповідно вертикальна і горизонтальна складові потоку, які визначаються рівняннями:

$$\theta_{iz} = V_z n_i - N\left(K_{zz}\frac{\partial c_i}{\partial z} + K_{zy}\frac{\partial c_i}{\partial y}\right), \qquad (6.5)$$

$$\theta_{iy} = V_y n_i - N\left(K_{yy}\frac{\partial c_i}{\partial y} + K_{zy}\frac{\partial c_i}{\partial z}\right). \qquad (6.6)$$

Тут V_z, V_y – відповідно вертикальна і горизонтальна складові швидкості зонально усередненої глобальної циркуляції атмосфери;

N – повна концентрація молекул повітря; $c_i = n_i / N$ – відношення суміші і –го компонента; K_{yy}, K_{zz}, K_{zy} - компоненти тензора турбулентної дифузії.

Загальна кількість рівнянь визначається вибраною схемою фотохімічних перетворень. Граничні умови для системи диференціальних рівнянь задаються таким чином, що на полюсах потік домішки вважається рівним нулю, а на нижній і верхній границях подається або концентрація складової, або її потік.

Зміни газового складу атмосфери (наприклад, [O_3], [NO_2]) можуть привести до зміни оптичної товщі і потоків сонячної радіації, які, в свою чергу, змінюють швидкості реакцій фото дисоціації. При зміні концентрації O_3 і CO_2 відбувається зміна температури T атмосфери, яка впливає на швидкості реакцій і змінює динамічні характеристики атмосфери.

З застосуванням двомірної фотохімічної моделі з включенням гетерогенних реакцій на стратосферному сульфатному аерозолі і на полярних стратосферних хмарах розглянуто глобальні ефекти дії на озон 9 пусків "Спейс Шаттла" і 6 пусків ракети "Титан IV". Розрахункове збільшення Cl досягало ~ 0,4% від фону, що зумовило зменшення вмісту озону в середній і верхній стратосфері на помірних і високих широтах Північної півкулі ~ 0,14%. Максимальне зменшення вмісту озону в стовпі ~ 0,05% досягається на північних широтах в кінці зими і на початку весни. Таким чином, врахування гетерогенних процесів збільшує передбачуване зниження кількості озону в результаті запусків твердопаливних ракет в ~ 2,5 рази.

В табл.6.2 наведені запаси хлору і викиди HCl (в перерахунку на хлор), розраховані для різних висотних шарів для щорічного пуску 9 ракет “Спейс Шаттл” і 6 ракет “Титан IV” [1].

Таблиця 6.2

Розподіл за висотами викидів (т/рік) HCl (в перерахунку на Cl) і запас хлору (т) в різних шарах атмосфери

H, км	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	Всього
Викид	202,0	158,1	128,5	103,3	82,7	36,9	13,5	725
Запас	911,7	562,3	429,8	307,1	200,7	121,7	68,2	2601,5

Враховуючи, що руйнування озону при пусках ракет з твердим паливом відбувається, в основному, за рахунок хлору, і використовуючи дані про утворені запаси хлору із продуктів згоряння ракетного палива в різних шарах атмосфери і розрахункові швидкості руйнування непарного кисню в хлорному циклі, можна оцінити стаціонарне зменшення вмісту озону як в окремих шарах атмосфери, так і в усьому стовпі атмосфери (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

Доля озону, що міститься в п’ятикілометрових шарах,
ступінь зниження вмісту озону в кожному із шарів(ΔO_3,%)
і сумарне зменшення озону (%) в шарі 15-50 км

Н, км	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	Всього
Доля озону в шарі, %	0,286	0,388	0,18	0,043	0,009	0,0025	0,0011	0,9096
ΔO_3,%	0,280	0,023	0,037	0,067	0,131	0,208	0,163	0,0909

Як видно з табл.6.3, найбільше руйнування озону відбувається в шарі 15...20 км, де викидається найбільша кількість HCl. Другий максимум руйнування озону спостерігається в шарі 40...45 км, де за оцінками досліджень максимальна ефективність хлорного
каталітичного циклу.

Проведені дослідження впливу газоподібних продуктів згоряння ракетних палив дозволяють зробити такі висновки:

1) твердопаливні ракети за рахунок наявності у продуктах згоряння сполук хлору здійснюють більший вплив на озоносферу, ніж рідинні ракети;

2) пуски окремих ракет, навіть таких потужних, як "Енергія" і "Спейс Шаттл" спричинюють лише локальну і порівняно короткочасну дію на стратосферний озон;

3) глобальний вплив пусків РКТ на озоновий шар Землі при сучасній їх інтенсивності надто малий.

6.3.4. ”Тригерні” ефекти в озоновому шарі при запусках ракет

При запусках ракет можливе виникнення “тригерних механізмів” протікання процесів в озоновому шарі. В цьому випадку невелика за кількістю активна домішка або незначна енергетична дія може викликати ланцюгову реакцію з наслідком, якій багатократно перевищує початкову дію. Одним із шляхів здійснення “тригерного” ефекту може бути виникнення або різке збільшення потоку енергетичних часток в результаті запуску ракет. Гальмівне рентгенівське випромінювання, яке виникає при проходженні високо енергетичних часток в атмосфері і створює додаткову іонізацію на стратосферних рівнях, могло і через створення додаткової

кількості окису азоту вплинути (через азотний каталітичний цикл) на концентрацію стратосферного озону. Можливий і такий механізм: збільшене гальмівне рентгенівське випромінювання в високоширотній стратосфері стимулює утворення крапель в перенасиченому водяною парою повітрі, приводячи до утворення стратосферних хмар, зниження температури і зменшення кількості озону.

Про можливість такого шляху здійснення "тригерного" ефекту свідчать експериментальні дані про стимульоване висипання високоенергійних часток при проведенні різних типів активних експериментів, в тому числі при викидах різними способами металів(Ba, Cs, Li), при імпульсній і неперервній інжекції плазми та електронів на середніх і високих широтах. Значні зміни характеристик високоенергійних електронів, що висипаються, спостерігались і при інжекції в іоносфері H_2O і CO_2, які гасять плазму і присутні в великих кількостях в продуктах згоряння рідинних ракет. Нарешті, в ряді випадків при запусках ракет малого і середнього класів з полігону Плесєцк спостерігались ефекти в іоносфері, викликанні стимульованими локальними висипаннями електронів.

6.4. Оцінка впливу РКТ в загальне руйнування озону

До цього часу вклад РКТ в руйнування озоносфери оцінувався тільки теоретично без проведення будь-яких цільових вимірювань з космосу або з поверхні Землі.

При теоретичній оцінці кількості O_3, що руйнується при запусках ракет, необхідно розглядати складний процес взаємодії продуктів згоряння ракетного палива з компонентами атмосфери, під час якого одночасно протікають газодинамічні, хімічні(гомогенні і гетерогенні), а також фотохімічні процеси, які описуються складними математичними моделями. Однак із розглянутих вище результатів теоретичних досліджень видно, що по-перше, окремі пуски навіть таких потужних ракет, як "Енергія" і "Спейс Шаттл" спричинюють лише локальну і порівняно короткочасну дію на стратосферний озон, по-друге, навіть при підвищеній інтенсивності пусків (щомісячні пуски на протязі чотирьох років) глобальне зниження загального вмісту озону мале.

Згідно з оцінками в роботі [31] при передбачуваних на початку 70-х років інтенсивності запусків ракет "Спейс Шаттл" (60 пусків щорічно) вміст озону в діапазоні висот 15-50км може понизитись на ~ 0,56%, а при щорічних 9 пусках ракет "Спейс Шаттл" і 6 пусках ракет "Титан IV"(запуски 80-х років), зменшення кількості O_3 в тому ж діапазоні висот не перевищує ~ 0,1%. Це суперечить результатам, опублікованим в роботах [34, 35], згідно з якими доля РКТ в руйнуванні озонового шару від загальної антропогенної дії на атмосферу (з врахуванням зниження виробництва фреонів згідно з Монреальським протоколом) складе до 2005р не менше 10%. Ця оцінка здається дуже завищеною, виходячи із співвідношення викидів ракетних палив (в першу чергу продуктів згоряння озоноактивних компонентів) з врахуванням інтенсивності запусків різних ракет з їх природними джерелами та іншими антропогенними джерелами забруднення НПС.

В табл.6.4 наведені дані про вклад різних циклів руйнування озону в природних умовах та при запусках ракет, які свідчать, що найбільш впливають на озон хлорні компоненти, і в меншій мірі – окисли азоту та водневі компоненти, присутні в продуктах згоряння ракетних палив.

Таблиця 6.4

Вклад різних каталітичних циклів в руйнування озону

	Вклад в процес руйнування, %		
	Всі джерела		Ракетні двигуни
	Вся стратосфера	25-30 км.	
Окисли азоту	32	70	0,00005
Кисень	23	10	0
Водень/гідроксил	26	10	0,0012
Хлор	19	10	0,032
Всього	100	100	0,034

В природних умовах основними джерелами хлору на стратосферних висотах є :

1) фотодисоціація хлористого метилу (CH_3Cl), що утворюється при розкладі чи згорянні біологічних продуктів, переважно морського походження;

2) фотохімічне руйнування хлорфторвуглеводнів (фреонів, хладонів);

3) викиди вулканів.

В табл.6.5 наведені щорічні викиди в стратосферу озоноруйнуючих компонентів як природними, так і антропогенними джерелами [1].

Стійкі хлорфторвуглеводні (ХФВ), що надходять в атмосферу біля поверхні Землі, під дією турбулентного перемішування і впорядкованих вертикальних потоків практично без руйнування переносяться в стратосферу, де починається їх фотоліз з утворенням активного хлору, який приймає участь в процесах руйнування озону. Деяка частина Cl перетворюється в HCl і видаляється із стратосфери.

Таблиця 6.5

Щорічні викиди (кілотонн) в стратосферу
озоноруйнуючих компонентів

Джерело	Cl	H_2O	H_2	NO_x
Промисловість	300	-	-	-
Вулкани	100-1000	-	-	-
Природний фон	75	1500	340	280
Ракетна техніка 9 “Спейс Шаттлів” і 6 “Титанів”	0,79	3,25	0,2	0,016

Вміст фреонів в атмосфері збільшується: в70-ті роки збільшення викидів складало ~ 10% за рік, в 80-ті – 5% за рік. У відповідності з Монреальською конвенцією, яка вступила в силу з 1989р, передбачалось до середини 90-х років заморозити споживання фреонів з високим озоноруйнуючим потенціалом на рівні 1986р, а до 1999р знизити їх виробництво наполовину. Виходячи з цього, можна прогнозувати, що в найближчі десятиліття не буде суттєвого збільшення вмісту в атмосфері фреонів з високим озоноруйнуючим потенціалом (в основному, це фреони з великим періодом "життя" ~ 100 років – ХФВ-11, -12, -113,-114, CCl_4). Разом з тим галогеновуглеводні з низьким озоноруйнуючим потенціалом, що мають періоди "життя" ~ 1-30 років (ХФВ-22, -123, CH_3Cl_3), будуть вироблятись і викидатись із все більше зростаючими кількостями. Оскільки ці гази створюють

парниковий ефект, їх вплив на озон схожий на вплив CO_2, якщо навіть не враховувати прямого вкладу в руйнування озону через виділення хлору в стратосферу.

Як свідчать дані табл.6.5, значним джерелом хлору в атмосфері є виверження вулканів. За оцінками фахівців щорічний викид HCl із вулканів у повітря складає (0,4-11) Мт. Приблизно 10% цих газів виділяється при виверженнях вибухового типу, викиди яких досягають стратосфери. Це джерело хлору може досягати 3Мт для сильних вивержень. Так, під час виверження Агунс в березні 1963 р в стратосферу потрапило біля 1,2Мт HCl [36]. Співставлення з цими джерелами викидів твердопаливних ракет показує, що при запуску ракети "Титан IV" на висоті 15-60км викидається 46т сполук, які містять хлор, і на 30-40% більшу кількість – при запуску "Спейс Шаттла", причому біля 63% з них викидається в тропосферу, звідки випадає у вигляді кислотного дощу, не впливаючи на озон. Решта HCl доходить до стратосфери, де діє активний хлор, руйнуючий озон. За даними [1] твердопаливні двигуни 9 "Спейс Шаттлів" і 6 "Титанів IV" за рік викидають в стратосферу (h > 15км) ~ 0,79 кілотонн Cl_x, що складає < 0,25% від існуючого стратосферного джерела хлору, і дія їх на стан озонового шару в глобальному масштабі не перевищує 0,1% при природних коливаннях повного вмісту озону в межах $\pm$20-25%. За оцінками в роботі [37], щоб підвищити вміст Cl в стратосфері на 1%, необхідно щорічно здійснювати 54 запусків "Спейс Шаттла" і 36 запусків "Титана IV". Навіть, якби до 2000 р вдалося повністю виключити викиди ХФВ, щоб до 2050 р внести в атмосферу 1% Cl, потрібно було б запускати 36 "Спейс Шаттлів" і 24 РН "Титан" щорічно.

Значний вплив на озоновий шар має інший компонент продуктів згоряння твердих і рідких ракетних палив – окисли азоту NO_x. В природних умовах основним джерелом NO_x ($NO + NO_2$) є окислення збуреними атомами O в стратосфері, а також в середній і верхній тропосфері. Інтенсивність його викиду в Північній півкулі – 100-300кг за рік [1]. За деякими прогнозами зростання інтенсивності викиду N_2O в атмосферу складе в період 1985-2015 рр ~ 0,2-0,25% за рік. Наземні і антропогенні джерела NO_x мають значно більшу інтенсивність – 10…20Мт за рік; з них 10Мт виробляє біосфера суші з максимом в середніх і субтропічних

широтах; ~ 2…4Мт NO_x утворюється в результаті грозових електричних розрядів. Через швидке вимивання NO_x в шарі хмар і опадів зміна інтенсивності цих джерел слабо впливає на глобальний середній вміст NO_x в середній і верхній тропосфері.

Слід відмітити, що інтенсивним антропогенним джерелом окислів азоту в стратосфері є викиди NO_x із реактивних двигунів літаків. Вміст NO_x в вихлопних газах реактивних двигунів (див. розділ 1) визначається через емісійний індекс EI (гNO_2 /кг палива). В двигунах найбільш поширених дозвукових літаків "Боінг-707, -727", "DC-8, -9" в крейсерському режимі утворюється біля гNO_2 на 1кг витраченого палива, в двигунах літаків "Боінг-747", "DC-10", "А-300", "Локхід-1011" ~ 16 г NO_2 /кг палива.

Найбільша кількість NO_2 (18 г на 1 кг палива) утворюється в двигунах надзвукових літаків "Конкорд" і "ТУ-144". Розрахунки показують, що 500 надзвукових літаків на висоті 20км будуть спалювати ~ 77 Мт палива і викидати 1,8 Мт NO_2 за рік. Це може привести, як показали розрахунки на простій одномірній моделі, до середньорічного глобального зменшення концентрації O_3 на 3% на висоті 20км до 23% на висоті 30км із зменшенням загального вмісту озону на 13% і майже до 50%-ного можливого зниження [O_3] в "коридорі" польотів.

Розрахунки на двомірних радіаційно-фотохімічних моделях для середньорічних стаціонарних режимів дії постійних за часом викидів NO_x і H_2O на різних висотах в різних широтах і для різних концентрацій непарного хлору в стратосфері показали, що при одному і тому ж викиді NO_x в основному "коридорі" польотів в середніх широтах Північної півкулі польоти на рівні ~20км приводять до зниження загального вмісту озону на порядок більшого, ніж на висотах польоту h = 15-16 км (табл.6.6).

Таблиця 6.6

Оцінки передбачуваного зменшення загального вмісту озону для викидів оксиду азоту у різних шарах стратосфери, розраховані на двомірній радіаційно-фотохімічній моделі

Індекс емісії, г/кг	Викид, 10^{33} молекул в рік	Шар викиду, км	Зменшення загального вмісту озону, %		
			Глобальне	Північна півкуля	Південна півкуля

40	68	21–24	19,1	27,9	6,7
5	8	21– 24	2,8	4,3	1,2
15	24	15– 18	0,7	0,9	0,4
15	24	18– 21	7,6	10,4	5,9
15	24	21– 24	8,6	13,1	3,9
15	24	24– 27	9,6	15,6	3,5
15	24	27– 30	10,1	16,4	3,5
15	24	30– 33	9,8	16,0	3,4
15	24	33– 36			
15	24	33– 36			
15	24	21– 24			

Максимальне його зменшення як глобальне, так і в Північній півкулі (10 і 16%) викликають польоти на h = 28...30км між шарами максимуму густини O_3 (20...26км) і максимуму його відношення суміші (30...36км). У всіх варіантах табл. 6.6 прийнята однакова кількість спалюваного палива 77Мт/рік; при цьому сумарний викид NO в стратосфері для EI = 15 г/кг ($2{,}4\cdot10^{34}$ молекул/рік) відповідає оцінюваній інтенсивності природних джерел окислів азоту у всій стратосфері (світове споживання в 1987р складало 153Мт, в 1988р – 150Мт). На основі сучасних даних в роботі [1] робиться висновок, що при очікуваному в XXI ст зростанні вмісту Cl_y в стратосфері, навіть в умовах виконання прийнятих обмежень викиди ХФВ в 90-х роках і припинення їх викидів в XXI ст. величезні техніко-економічні зусилля щодо зниження емісії NO_x авіаційними двигунами будуть значною мірою знецінені великим зменшенням загального вмісту озону на одиницю викиду NO_x при підвищеному вмісті Cl_y. Слід відмітити, що завдяки дії Монреальської конвенції максимальний вміст Cl_y в тропосфері спостерігався в 1994р. З подальшим його зниженням як в тропосфері, так і з запізненням приблизно на рік – в стратосфері ~ в 1,23 рази до 2015р і ~ в 1,85р до 2050р. В цьому випадку зростає роль впливів надзвукових літаків. Вони можуть стати основним каналом антропогенної дії на озоносферу, тим більше що авіаінженери вважають маловірогідним досягнення індексу емісії 5г/кг палива на початку XXI ст. Крім того, при

зменшенні викиду NO_x зростає роль викидів SO_2 (EI ~ 1,1г/кг палива), які приводять до збільшення вмісту сульфатного аерозолю і зменшення вмісту озону.

В цілому, проведені в роботі [38] оцінки свідчать на користь надто великого впливу авіації на стратосферний озон. За цими оцінками біля 50% загального вмісту NO_x в верхній тропосфері і нижній стратосфері середніх широт Північної півкулі є результатом викидів реактивних двигунів літаків. Якщо співставити ці дані з наведеними в табл. 6.5 щорічними викидами NO_x в стратосферу від природних джерел і в результатів запусків твердопаливних ракет, то, очевидно, що вклад РКТ в руйнування озону за рахунок викидів цього озоноактивного компонента незначний. Джерелом руйнування озону, як уже відмічалось, є також аерозольні частки Al_2O_3 і H_2O. При запуску "Титана IV" на висоти 15...60км викидається ~ 68т Al_2O_3, а при запуску "Спейс Шаттла" – 110т.

Як показує порівняння цих даних із вмістом аерозолів у фонових умовах, з викидами при виверженні вулканів і при польотах надзвукових літаків, щоб забезпечити концентрацію аерозольних часток з загальною площею поверхні такою ж, як і в фонових умовах, необхідно здійснити біля 10000 запусків "Спейс Шаттла".

Як показують розрахунки для іншого антропогенного джерела – надзвукових літаків, якщо значна доля викидів SO_2 із авіадвигунів буде перетворюватись в сірчану кислоту, то при передбачуваному використанні надзвукових літаків (500 літаків щорічно спалюють 59Мт палива, викидаючи ~ 12кт сірки за рік) можливе збільшення загальної площі поверхні сульфатного аерозолю в стратосфері в ~ 2 рази і збільшення руйнування озону при низьких індексах емісії NO_x (табл.6.7).

Таблиця 6.7

Зміна (в %) середньорічного вмісту озону в стовпі на 47ºN
та зміна площі поверхні аерозолів у нижній стратосфері

Емісія SO_2	Зміна площі поверхні аерозолів, %	Індекс емісії NO_x	
		EI = 15	EI = 5

$Cl_y = 3 \times 10^{-9}$			
0	0	– 0,21	– 0,11
100 % газ	35	– 0,34	– 0,47
10 % часток	50	– 0,47	– 0,75
100 % часток	130	– 0,76	– 1,33
$Cl_y = 2 \times 10^{-9}$			
0	0	– 0,71	– 0,28
100 % газ	35	– 0,70	– 0,52
10 % часток	50	– 0,75	– 0,69
100 % часток	130	– 0,80	– 1,02

В табл.6.7 наведені результати розрахунків зміни загальної поверхні аерозолів в Північній півкулі і зменшення річного середнього вмісту озону в стовпі на 47°N під впливом надзвукової авіації.

Із розрахунків видно: якщо ступінь нуклеації газів SO_2 в вихлопній струмині досягає 100%, то при всіх інших однакових умовах можливе зменшення загального вмісту O_3 на 1,0-1,33%. Таке ж зменшення озону може спостерігатись в результаті збільшення інтенсивності запусків ракет в 30 разів порівняно з існуючою в даний час. Наведені вище дані не дають підстав для висновку про будь-який суттєвий вклад РКТ в руйнування озонового шару Землі в глобальних масштабах. Однак якщо в майбутньому виникне необхідність збільшити кількість запусків РН для масштабних досліджень космосу або для його індустріалізації (наприклад, для створення космічних електростанцій тощо, потрібно організувати постійний моніторинг з метою контролю НПС і недопущення виникнення дій РКТ, які перевищують допустимі рівні.

Для зниження впливу РКТ на озоносферу пропонуються наступні заходи:

1) зменшення кількості пусків ракет за рахунок більш широкого використання групового виведення декількох космічних апаратів одною ракетою;

2) зменшення тривалості перебування ракети, яка запускається, в озоновому шарі за рахунок вибору оптимальних траєкторій виведення;

3) використання екологічно “чистих” рідких компонентів ракетних палив, які чинять мінімальну дію на озон;

4) розробка методик і проведення міжнародної паспортизації засобів виведення, в тому числі за кількістю озону, що знищується.

7. ДІЇ РКТ НА ІОНОСФЕРУ І ВЕРХНЮ АТМОСФЕРУ ЗЕМЛІ

Канали дії ракет і виробів РКТ на верхню атмосферу та іоносферу надзвичайно різноманітні. Основні з них можна подати у вигляді декількох тісно пов'язаних між собою груп, кожна з яких пов'язана з певним комплексом фізичних (фізико-хімічних) процесів і явищ:

– хімічна модифікація верхньої атмосфери та іоносфери;

– забруднення верхньої атмосфери хмарами аерозолю, дрібнодисперсних уламків і конденсату;

– хвильова модифікація нейтральної і зарядженої компонент плазми верхньої атмосфери;

– стимулювання крупномасштабних процесів і субзбурювальних процесів ("тригерні ефекти");

– оптичні явища, що супроводжують запуск і функціонування виробів РКТ на орбітах.

Різноманітність каналів дії РКТ на НПС зумовлює відповідну різноманітність засобів і систем діагностики вказаних явищ і процесів.

7.1. Зміни в іоносфері під впливом РКТ

Як свідчить аналіз фізико-хімічних процесів атмосфери [27], максимальне надходження енергії спостерігається на висоті 50-60 км, що призводить до появи максимуму температури. Шар атмосфери від 50 до 80 км відноситься до мезосфери, де основними енергетичним процесом є променистий теплообмін. В мезосфері спостерігається падіння температури від ~290 до 160 К в точці мезопаузи. На висоті від 90 до 400 км розташована термосфера (див.рис.6.1). В ній відбуваються процеси поглинання і перетворення енергії короткохвильового і рентгенівського випромінювання, що зумовлює підвищення температури до ~2500 К з висотою від ~200 до 500 км. Значення температури залежить від часу доби і сонячної активності. Сонячне випромінювання впливає і на густину повітря в термосфері. Так, на висоті ~200 км густина повітря вдень в 1,5 – 2 рази вища, ніж вночі. При поглинанні квантів ультрафіолетового випромінювання Сонця з довжиною хвилі менше 10 мкм відбувається іонізація компонентів атмосфери, тому основні області іоносфери D, E, F_1 і F_2 розташовані в термосфері. Області D, E, F_1 і F_2 іоносфери характеризуються в залежності від висоти різною концентрацією

електронів (від 10 до 10^6 ел/см^3), позитивних (Mg^+, Fe^+, Si^+, H_3O^+, NO^+, O_2^+, O^+, H^+, He^+, N^+) та негативних ($NO_3^-(H_2O)_n$, HCO_3^-, $SO_x^{y-}(H_2O)_n$) іонів в одиниці об'єму. Область D поширюється до висоти 90 км. Для неї характерне збільшення концентрації електронів з 10 до 10^3 ел/см^3 вдень. Область E знаходиться між 90 і 140 км і концентрація електронів в ній вища на два порядки (10^5 ел/см^3). В області F_1 на висоті біля 200 км вдень спостерігається максимальна концентрація електронів (~$2{,}5\cdot10^5$ ел/см^3), яка відсутня вночі. Максимум електронної густини в області F2 припадає на 300 км.

Вздовж траєкторії руху ракети з працюючим двигуном в іоносфері може утворюватись область пониженої концентрації електронів Ne, яка називається "дірою" (ionospheric hole). Основна причина її утворення у зовнішній іоносфері (в шарі F2 і вище) після вирівнювання тисків – дифузія продуктів згоряння та іонно-молекулярні реакції компонентів викиду (H_2O, H_2, CO_2 тощо) з іонами кисню O^+. Молекулярні іони, що утворились, вступають в дисоціативну реакцію з електронами, що і приводить до швидкого зменшення Ne в іоносфері. На менших висотах основним фактором формування „діри" на початковому етапі є заміщення іоносферного газу продуктами згоряння, які після вирівнювання тисків мають ступінь іонізації суттєво нижчий, ніж в навколишньому середовищі. На наступному етапі основними стають процеси дифузії і хімічні реакції.

Як свідчать результати досліджень КА "Спейс-Шаттл", в профілі Ne(h) утворюється діра, розмір якої через ~14с після початку роботи двигунів по вертикалі досягає ~20 км, при цьому концентрація електронів в ній скоротилась до 50 % від фонової. До 25-ї секунди мінімальне значення Ne в "дірі" упало до 20 % від фонового. Через ~1,5 хвилини Ne в "дірі" зросла до 10^5 см$^{-3}$ і залишилась далі незмінною. Хмара продуктів згоряння розпливалась вздовж геомагнітного поля і повільно переміщувалась вниз із швидкістю ~84 м/с. Опускання хмари пов'язане з переносом на південь слабоіонізованої плазми продуктів згоряння нейтральним вітром із швидкістю ~(40-30) м/с. Поперек силових ліній геомагнітного поля продукти викиду дрейфували із швидкістю ~36 м/с. За даними, отриманими під час маневрів над обсерваторією Мілстоун Хілл, встановлено, що

глибина “діри” суттєво різна для нічних умов і вдень. В нічних умовах, починаючи з першої хвилини, падіння Ne складає ~50 % і залишається на одному рівні на протязі ~3–7 хвилин. Вдень максимальна глибина “діри” склала на першій хвилині 70 % від фонового значення Ne, зросла за 1–3 хвилини до 87% і далі (3–7 хвилин) практично не змінювалась.

Виконані експерименти приводять до наступних висновків:

– “діра” в атмосфері витягнута вздовж геомагнітного поля і утворюється при дифузії і “падінні” хмари продуктів згоряння вздовж силових ліній магнітного поля із зовнішньої іоносфери у внутрішню;

– максимальний розвиток “діри” зареєстровано через ~ 40 хвилин після модифікації іоносфери;

– просторовий масштаб “діри” складає сотні кілометрів;

– модифікація іоносфери привела до збурення внутрішніх гравітаційних хвиль.

Дифузія продуктів згоряння в фонову атмосферу і реакції рекомбінації приводять до зменшення критичної частоти (f_o F2) і висоти h_m F2, що неодноразово реєструвалось різними методами [39]. За даними роботи [39] при запуску ракети “Союз” відносне зменшення f_o F2 на ~10 % з тривалістю пониження f_o F2 біля 2 годин зареєстровано іоносферними станціями (АІС) Караганди і Семипалатинська.

Більш суттєві зміни f_o F2 реєструються при польоті РН на h > 200 км. Так, при запуску ракети “Saturn SA – 9” іонозондами, розташованими на мисі Канаверал, Багамських островах та о.Сан-Сальвадор, зареєстровано зниження на ~38 хвилин значення електронної концентрації шару F2 з ~ $6\cdot10^5$ см$^{-3}$ до ~$3{,}25\cdot10^5$ см$^{-3}$ над Багамськими островами (приблизно вдвоє). На о.Сан-Сальвадор концентрація електронів NeF_2 зменшилась в ~3 рази, а h_mF_2 знизилась більше, ніж на 50 км.

Розвиток іоносферних збурень залежить від радіогеофізичних умов. В геомагнітних збурених умовах вірогідність відсутності збурень на іонограмах в ~3 рази перевищує аналогічну вірогідність для спокійних умов. Іоносферна збуреність після пуску РН, яка характеризується відносним відхиленням $\Delta f_o F_2$ критичної частоти шару F2 від медіанного значення, також суттєво

зростає порівняно із спокійною іоносферою. Збурення при запусках РН збільшуються також і при підвищенні рівня сонячної активності.

Динаміка зміни інтегральної електронної концентрації Ne_T, викликаної запусками космічних апаратів свідчить про різний час початку падіння концентрації електронів для різних КА, різні тривалості існування і глибини „діри“, що пов'язане з такими факторами:

- мінімальною відстанню від траєкторії руху ракети Rrt до радіотраси (для польотів станції “Skylab” ця відстань розраховувалась від траєкторії ракети до місцеположення радіопроменя, який пересікає рівень h = 420 км; в загальному випадку – це мінімальна відстань між цими траєкторіями);

– різним підлітним часом ракети до точки, для якої Rrt – мінімальне;

– залежністю коефіцієнта дифузії від висоти.

Найбільше падіння електронної концентрації (~50%) зареєстровано на радіотрасах ATS – 3, ATS – 5 → Sagamore Hill, Bermuda, для яких відстані Rrt були мінімальними. В центрі „діри“ на протязі декількох хвилин Ne_T зменшилось до ~20% від незбуреного значення. В обох випадках „діра“ витягнута вздовж траєкторії руху ракети, її подовжні розміри складають ~2000–3000 км, поперечні ~600–1000 км, а час існування перевищує 3 години. Початковий етап зникнення електронів проходить дуже інтенсивно і для радіотрас, що пересікають струмину продуктів згоряння, не перевищує декількох хвилин.

Слід відмітити, що експериментальних даних про „діри“ в нижній іоносфері надто мало. Дані про збурення в області D в науковій літературі практично відсутні. При пересіченні області E ракет з рідинним РД (6 запусків ракет “Atlas”) і висотах польоту менше 120 км Ne в струмині перевищує фонову концентрацію електронів в іоносфері, на висоті ~120 км концентрація електронів в струмині і фоновій іоносфері стають близькими одна до одної. Концентрація електронів в “дірі”, утвореній струминою продуктів згоряння твердопаливних РД на висоті ~120 км також практично співпадає з іоносферною. Літературні джерела для дільниці від E до F дають суперечливу інформацію про зміну концентрації

електронів, тому визначити динаміку розподілу Ne в E – F шарі, збуреному ракетою, практично неможливо.

Аналіз хвилинних варіацій Ne в іоносфері, отриманих на відстані ~2000 км від місця старту, показав, що на першій хвилині після запуску в деяких запусках зареєстровано зменшення $f_o F2$, яка за 22 замірами склало ~ 5 %. Автори досліджень пов'язують зареєстрований ефект із збуренням магнітогідродинамічних (МГД) хвиль, які рухаються факелом ракети в магнітному полі. Експериментальні дані про генерацію МГД – хвиль ракетою в нижніх (неіонізованих) шарах атмосфери в науковій літературі відсутні. Появу додаткового поглинання на іонограмах АІС у смузі до 5 МГц (також на перших хвилинах після запуску ракети з космодрому Плєсецьк) пов'язують з можливою локальною стимуляцією висипання заряджених часток із магнітосфери.

7.2. Збурення хвиль в нейтральному газі виробами РКТ

Зовнішня границя області, в якій існують хвилі в нейтральному газі, утворені в результаті роботи РД, починається з головної ударної хвилі, яка переходить вниз вздовж потоку у вихідну хвилю. В цій області простору, яка переміщується разом з ракетою в верхній атмосфері, існує два типи хвиль з періодами, набагато меншими доби: акустичні і внутрішні гравітаційні хвилі (ВГХ). Границею між ними є: з боку високих частот – гранична акустична частота (найнижча можлива акустична частота $\omega_\alpha \approx 0{,}5(g/c_S)^2$, а з боку ВГХ – найвища частота ВГХ $\omega_g = (k - 1)/(g/ c_S)^2$. Тут g – прискорення вільного падіння, c_S – швидкість звука, $k = C_p/C_v$. Смуга частот, яку займають акустичні хвилі, обмежена зверху частотою зіткнення нейтральних часток. Загальною рисою для обох гілок є проходження хвиль окремими групами (хвильовими пакетами) як у верхній, так і в нижній атмосфері.

7.2.1. *Акустичні збурення*

Акустичні хвилі за періодом поділяються на високочастотні хвилі, до яких відноситься ударна хвиля, і низькочастотні (НЧА). Перша група збурень в спектрі сигналу похилого доплеровського

короткохвильового зондування, зареєстрованого на трасі, яка пересікає траєкторію руху ракети, починається з появи відгуку на ударну хвилю. Після проходження ударної хвилі в першій групі реєструються достатньо слабкі хвильові збурення, які належать до низькочастотного акустичного діапазону частот ($НЧА_1$). До другої групи відносяться хвильові варіації частоти, які з'являються у відгуку сигналу через декілька десятків хвилин після старту. Хвилі цієї групи відносяться до низькочастотного діапазону (далі $НЧА_2$). На фоні $НЧА_2$ можливий перехід ще однієї групи низькочастотних хвиль($НЧА_3$).

Збурення електронної концентрації, викликані ударними хвилями в верхній атмосфері, зареєстровані багатьма способами. Найбільш яскраво ударні хвилі в верхній атмосфері проявляються у відгуку сигналів похилого доплеровського короткохвильового зондування. Визначена дія ударних хвиль та НЧА – хвиль на сигнали трансіоносферного зондування (система GPS).

Детальні дані про ударні хвилі отримані на системі трас похилого доплеровського короткохвильового зондування під час стартів з космодрому Байконур під кутом нахилу площини орбіти до площини екватору ~51,6° ракет "Союз", "Протон" і "Енергія". Дані охоплюють часовий інтервал з 1975 до 1998 р.

Область існування ударного конуса не обмежується зоною, що прилягає до корпусу ракети і переміщується разом з нею. Для ракет класу "Союз", "Протон", "Енергія", "Saturn" експериментально доведено існування ударних хвиль в діапазоні висот від земної поверхні до висоти ~350 км. Наземними датчиками тиску на Бермудських островах зареєстровані акустичні N – подібні імпульси, що надійшли практично зверху через ~490с після прольоту інших ступенів РН "Saturn - 5" з космічними кораблями „Apollo-12" і „Apollo-13". Тривалість першого (позитивного) імпульса тиску складає ~0,75с, а його амплітуда ~10мбар.

Методом похилого короткохвильового зондування встановлено, що відгук на ударну хвилю зникає при підйомі основи області F на висоту більше 300 км. Хоча при поширенні ударної хвилі в горизонтальному напрямку хвилеводні властивості верхньої атмосфери трансформують N – подібний профіль ударної хвилі в

пакет хвиль, акустичні хвилі в верхній атмосфері зареєстровані на відстанях, більших 1100 км.

Для оцінки параметрів ударної хвилі вводяться: час появи T_N відгуку на ударну хвилю як різниця між моментом появи збурень в спектрі сигналу і моментом пересічення ракетою площини радіотраси; тривалість попереднього фронту збурення δ_t; тривалість позитивної фази τ^+; тривалість розрідження τ^- і загальна тривалість збурення (час проходження мимо незбуреної променевої трубки $\tau_N = \tau^+ + \tau^-$). Для РН "Союз", яка летить в області F, мінімальні значення τ_N зафіксовані в перехідний час доби (T_N ~10с, середньоквадратичне відхилення γ ~20с). Вдень шар Е чинить екрануючу дію і в залежності від частоти зондування певний діапазон висот за максимумом шару Е потрапляє в область геометрооптичної тіні. Якщо ракета при польоті знаходиться в цій області, то ударна хвиля стає "видимою" тільки тоді, коли піднімається на висоту, більшу верхньої границі зони тіні. Для РН, активна дільниця траєкторії яких розташована в області Е або в Е – F долині ("Протон", "Енергія"), добова залежність T_N, зумовлена часом поширення ударної хвилі до області F, чітко визначена. Добово-сезонні значення T_N, характерні часові масштаби параметрів ударної хвилі (δ_t, τ^+, τ_N) і границі їх зміни подані в табл.7.1.

Тип РН, орієнтація площини траси відносно площини руху ракети, довжина радіотраси порівняно слабо впливають на досліджувані параметри. Основний вклад вносить добово-сезонний хід. В природних умовах відгуки сигналу похилого короткохвильового зондування, подібні відгуку на ударну хвилю, не зареєстровані. Це пов'язане з тим, що в іоносферній плазмі відсутні збурення з часовими масштабами τ_N ~1-4 хв., форма яких була б близькою до N-подібного профілю, характерного для ударних хвиль. Для оцінки амплітудних параметрів ударної хвилі вводяться: максимальні зміщення частоти Δf^{+p} і швидкості часток газу V^{+p}, пов'язані з відбиттям від переднього фронту збурення; аналогічні величини, пов'язані з відбиттям від пологої частини N-хвилі (Δf^-, V^-) і від заднього формату збурення (Δf^{+z}, V^{+z}). Середні значення максимальних зміщень частоти не перевищують ~1,7 Гц, хоча в окремих випадках вони можуть доходити до 10–15 Гц. Зміни

Δf^{+p}, V^{+p}, Δf^{-}, V^{-}, Δf^{+z}, V^{+z} в залежності від часу доби, сезону і типу ракети також наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Добово-сезонні і часові значення параметрів ударної хвилі

Параметр	*Середні значення*					
	«Союз»	«Протон» «Енергія»	Зима «Союз»		Літо «Союз»	
			день	ніч	день	ніч
δ_t, хв.	0,53	0,54	0,33	1,02	0,52	0,68
τ^{+}, хв.	0,8	0,85	0,5	1,5	0,8	0,95
τ^{-}, хв.	2,25	2,25	1,05	2,85	2,4	4,15
τ_N, хв.	3,05	3,1	1,6	4,35	3,2	5,65
Δf^{+p}, Гц	1,64	0,98	1,70	1,28	2,09	1,15
Δf^{-}, Гц	1,16	0,99	0,46	1,01	2,23	1,63
Δf^{+z}, Гц	0,42	0,36	0,12	0,65	0,54	1,06
V^{+p}, м/с	46,2	26,6	39,2	75,8	51,4	32,6
V^{-}, м/с	33,8	29,2	11,2	55,5	54,3	47,7
V^{+z}, м/с	14,2	14,8	3,2	38,8	13,5	32,2

Вірогідність відсутності відгуку сигналу похилого короткохвильового зондування на ударній хвилі виявилась надто малою і реалізовувалась або в перехідний час доби зимою, або вночі. В цих же сеансах були відсутні відгуки сигналу на НЧА. Діапазон висот, в якому можлива ефективна дія ударних хвиль на короткохвильовий сигнал, обмежений в нічних умовах: знизу – основою області F, а зверху – висотою максимуму шару. Обробка даних АІС м. Томська показала, що тільки в ті сеанси, коли був відсутній відгук в спектрі на ударну хвилю, висота основи області F іоносфери перевищувала 300 км, а висота максимуму шару F2 досягла 400 км. Таким чином, висота області, в якій можуть існувати ударні хвилі і НЧА-хвилі, збурені в атмосфері ракетами “Союз” і “Протон”, не перевищує 350 км.

Середні значення τ_N, δ_t, τ^+, τ^- ударних хвиль від ракети, які летять на рівні області E, F на 1-2 порядки перевищують значення, зареєстровані на Землі. Мінімально можливі значення цих параметрів в верхній атмосфері отримані в зимовий день і перевищують: $\delta_t \geq$ 6-10с, $\tau^+ \geq$ 15-20 с і $\tau_N \geq$ 40-60 с. Як показали результати порівняльних вимірювань акустичних параметрів ударної хвилі, наземних і висотних вибухів, еволюція імпульсного акустичного забруднення незалежно від джерела (ракета, вибух) при поширенні від місця генерації вверх визначається амплітудною дисперсією, а при переносі збурення вниз відбувається "стиснення" збурення. Можливі причини "стиснення": відбиття від мезопаузи низькочастотних складових і фазова дисперсія [40].

Поява НЧА-хвиль в верхній атмосфері на значній відстані від траєкторії польоту ракети була зафіксована при запуску РН типу "Saturn-5" на відстані 1150 км; варіації частоти складали 1,5 – 5 хв., а час існування перевищував 70 хв. Час появи $T_{НЧА}$ НЧА-збурень визначався різницею між моментом появи збурень і моменту пересічення ракетою площини радіотраси. При цьому спостерігається три групи НЧА-збурень. Середньодобове значення часу існування НЧА-збурень першої групи $\tau_{НЧА1}$ не перевищує 10,3 хв. і не залежить від типу ракети. Друга група НЧА-хвиль ($НЧА_2$) запізнюється в середньому на 17,4 хв. від моменту пересічення ракетою площини траси. Прихід третьої групи низькочастотних хвиль $НЧА_3$, яка з'являється епізодично, запізнюється в середньому на 31,5 хвилини відносно моменту пересічення ракетою площини радіотраси. Середні значення мінімальних T_{min} і максимальних T_{max} періодів НЧА-хвиль для $НЧА_1$ та $НЧА_2$ практично не залежать від типу РН, однак залежать від сезону року і часу доби. Значення T_{min} і T_{max} $НЧА_2$ завжди менші відповідних значень $НЧА_1$–збурень. Так, T_{min} $НЧА_2$ становить приблизно 0,25–0,35 T_{max} $НЧА_1$; T_{max} $НЧА_2$ становить приблизно 0,6–0,7 T_{max} $НЧА_1$, звідки видно , що більш значні відмінності в мінімальних періодах.

7.2.2. *Внутрішні гравітаційні хвилі*

Хвильові збурення в діапазоні внутрішніх гравітаційних хвиль (ВГХ) є невід'ємною частиною хвильових збурень, які супроводжують запуск і функціонування виробів РКТ. Діапазон

періодів, які займають ВГХ, поділяються на 3 смуги: до 10 хв., 15-30 хв., 75-100 хв. Разом з тим, можуть реєструватись ВГХ з аномально малими періодами (200 с). Можливими причинами можуть бути збіжність напрямків термосферного вітру і поширення ВГХ або те, що за ВГХ прийняті низькочастотні акустичні хвилі. Згідно з [41], перший пакет $ВГХ_1$ генерується факелом ракети і проявляється в спектрі сигналу зразу після пересічення РН площини реперної радіотраси і проходження ударної хвилі. Це короткий пакет із 2-3 напівхвиль, періоди яких складають 20–30 хв. Амплітуда варіацій частоти короткохвильових сигналів менша, ніж при проходженні ударної хвилі. Цей пакет зареєстрований не тільки в безпосередній близькості від активної дільниці траєкторії руху ракети, а й на відстанях понад 1000 км. Другий пакет хвиль ($ВГХ_2$) проявляється через декілька десятків хвилин після першого і може реєструватись на протязі декількох годин. Як $ВГХ_1$ так і $ВГХ_2$ можуть поширюватись на значні відстані від місця генерації, причому переважно в зимових умовах [42].

7.3. Явища в іоносферній плазмі, викликані дією РКТ

За своїми масштабами процеси в іоносферній плазмі, зумовлені функціонуванням виробів РКТ, поділяються на дві групи:

1) Крупномасштабні процеси, які включають стимуляцію комплексу суббуревих явищ, генерацію МГД-хвиль ударними хвилями в нейтральному газі, висипання енергійних часток і запуск тригерних механізмів;

2) Збурення хвиль в плазмі, флуктуації електронних полів і модифікація функцій розподілу заряджених часток.

Реєстрація збурень першої групи можлива як наземними, так і космічними засобами. Збурення другої групи реєструються, як правило, засобами, розташованими на борту КА.

7.3.1. *Крупномасштабні ефекти дії РКТ на верхню атмосферу*

В результаті активних експериментів, пов’язаних із входженням ударних хвиль в динамо-область іоносфери та

інжекцією хімічно активних реагентів, в високоширотній іоносфері виникають хвильові збурення різної природи. Подібні збурення, наприклад, від ракетного двигуна, діючи на авроральну (викликану сяйвом) область іоносфери, можуть приводити до розвитку іонно-звукової турбулентності і стимулювати появу області аномального опору або структури, подібної до подвійного шару. В сприятливих умовах ця область в подальшому може існувати самостійно (режим автогенерації) і викликати появу авроральної суббурі, активна фаза якої локалізована поблизу траєкторії руху РН в динамо-області.

Серія експериментів під час 14 запусків КА з космодрому Плєсецьк дозволила встановити, що у чотирьох випадках через ~23 хв. після старту КА в магнітному полі зареєстровано появу короткого негативного імпульсу і подальше збільшення горизонтальної компоненти (Н) магнітного поля відносно нормального рівня [43]. На протязі ~ 30 хв значення Н-компоненти залишалось підвищеним. Далі наступав етап відносно швидкого її зменшення. Такий часовий хід Н-компоненти являє собою характерну особливість магнітної бурі. Суббурі 15.08.91 р. і 04.10.91 р. відносяться до суббур без чітко визначеного початку, а суббуря, зареєстрована 21.08.91 р., – до числа суббур із раптовим початком.

Аналіз варіацій геомагнітного поля не виявив однозначного зв'язку між появою і станом фонової геомагнітної активності.

Реакція динамо-області субавроральної іоносфери на запуск ракети відрізняється від реакції іоносфери середніх і низьких широт. З'являються додаткове поглинання на іонограмах АІС в смузі до 5МГц і варіації геомагнітного поля, пов'язані з розвитком суббуревих явищ.

Утворення "діри" в іоносфері високих широт приводять до модифікації іоносферних струмів, пов'язаних з дугами полярних сяйв. В свою чергу, поява області пониженої провідності приводить до зміни механізмів прискорення заряджених часток, відповідальних за формування авроральних дуг. Оскільки надійні експериментальні дані про вплив "діри", утвореної РКТ, на субполярну іоносферу відсутні, використовуються оцінки з експериментів "Waterhole" [1]. Склад речовин, які інжектуються в цій серії активних елементів (H_2O, N_2, CO_2) надто близький до складу продуктів згоряння ракетних двигунів, а інжекція великої

кількості хімічних реагентів певною мірою моделює процеси дії палив на іоносферну плазму.

Інжекція водяної пари (Waterhole I) створила порожнину діаметром ~50 км., центр якої знаходився за 10 км на північ від авроральної дуги. Різке зниження Ne на 2 порядки від початкового значення привело до падіння за 2 с потоку електронів з енергією E=0,5 кеВ з ~10^8 до рівня ~10^6-10^7. Потік тримався на рівні фону на протязі ~130с. Інтенсивна променева структура авроральної дуги змінилась дифузійною, а середня інтенсивність її свічення в лінії 587,7 нм зменшилась в чотири рази і залишалась на цьому рівні на протязі ~3 хв. Під час експерименту Waterhole III, проведеного в нічних умовах на магнітній силовій лінії, пов'язаній з центром ряду дуг, формування "діри" не супроводжувалось значним збільшенням інтенсивності свічення гідроксилу. "Діра" також була менших розмірів за площею і глибиною. Бортовими приладами зареєстрована неврівноваженість функції розподілу енергійних електронів в зоні свічення (викид стимулював появу пучків енергійних електронів з енергіями від 0,1 до декількох кеВ). Експерименти наглядно продемонстрували механізми дії працюючих двигунів РКТ на іоносферну плазму високих широт. Авроральні дуги підтримуються системою струмів, що протікають вздовж магнітного поля: струм, який підтримується енергійними електронами, що висипаються, спрямований вверх, а зворотний струм (спрямований вниз) підтримується тепловими електронами. Утворення області пониженої провідності приводить до появи електрорушійної сили(ЕРС) і гальмуванню електронів в одній області простору (північніше дуги) і прискоренню їх в іншій (в дузі).

Вимірювання змін електронної густини, проведені вдень в екваторіальній іоносфері датчиками, встановленими на ракеті SONDA III (запущена в 18.05 UT 26.07.84 р. з полігону Natal, Бразилія), дозволили встановити, що запуск ракети спричинив збурення хвиль, які не пов'язані з хвилями в нейтральному газі. Хвильові збурення зареєстровані на низхідній частині траєкторії руху ракети у всьому діапазоні висот: починаючи з апогею траєкторії, що дорівнює 566 км, до 95 км – висоти основи області E. Характерною рисою експериментальних даних є практично лінійне зменшення масштабів збурення з ростом висоти.

7.3.2. *Збурення хвиль в плазмі виробами РКТ*

– Виконані засобами бортової діагностики чисельні дослідження показали, що сама присутність в плазмі виробів РКТ уже приводить до появи збурень в іоносфері. Робота двигунів, викид в НПС рідких, паро- і газоподібних продуктів систем життєзабезпечення РКТ, робота електротехнічних і радіотехнічних систем, що знаходяться в контакті з іоносферною плазмою, генерують електростатичні та електромагнітні поля, стимулюють появу неврівноважених розподілів заряджених часток і збурення хвиль у плазмі [44, 45]. Серія вимірювань електричних полів на зовнішній поверхні КА проведена в роботі [44]. Напруженість електростатичних полів на поверхні визначається її матеріалом (метал, діелектрик), дією оточуючої плазми, освітленістю і рівнем ультрафіолетового випромінювання Сонця, потоками енергійних заряджених часток. На висоті польоту орбітального комплексу “Мир” напруженість електростатичних полів ($E_{ст}$) на лобових і бокових поверхнях знаходиться в діапазоні ~0,1–0,5 кВ/м. Розподіл $E_{ст}$ на поверхні, оберненій в сторону супутнього сліду, має складний характер і пов’язаний з нерівномірним розподілом концентрації заряджених часток: знак напруженості поля змінюється тричі, а значення $E_{ст}$ складає ~10–15 кВ/м. При відключених двигунах станції найбільші амплітуди змінних електричних полів зареєстровані на тій частині поверхні, яка обернена до супутнього сліду ($E_п$ ~0,8–1 кВ/м), а найменші – на лобовій ($E_п$ ~0,1 кВ/м). На бокових поверхнях поле складає $E_п$ ~ 0,2 кВ/м і дещо збільшується(на ~ 30 %) при освітленні поверхні Сонцем. Схема і якісні результати вимірювань показані на рис. 7.1.

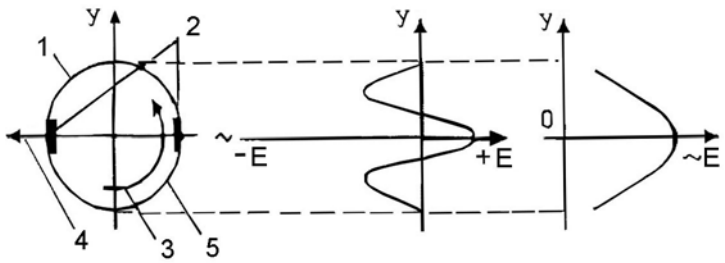


Рис.7.1. Напруженість електростатичного і змінного

електричного поля на поверхні КА, оберненій до супутного сліду:
1 – КА; 2 – датчики; 3 – напрям обертання; 4 – напрям польоту; 5 – сторона поверхні КА, обернена до супутного сліду

При обертанні станції, коли та частина її бокової поверхні, на якій розташовані датчики, виходить із зони іонної тіні назустріч набігаючому потоку, зафіксовано виникнення одиничних розрядних імпульсів. В залежності від кутової швидкості обертання КА вони через 5-15 с перетворюються в пакет розрядних імпульсів, що має дзвоноподібну форму і тривалість ~1с. Частота слідування імпульсів в пакеті зменшується від ~15-20 Гц на початку до ~3-5Гц в кінці. Амплітуда імпульсів не перевищує значення ~1,5 кВ/м.

Іоносферна плазма в безпосередній близькості від поверхні КА помітно модифікується. При польоті КА з виключеним двигуном на відстані ~10 м від “Space Shuttle” виявлена генерація електростатичних хвиль. Найбільш інтенсивні компоненти спектру знаходяться в діапазоні між 31 Гц (найбільш низька виміряна частота) і ~ 31 кГц з максимумом між 100 Гц і 300 Гц, але зареєстровані хвилі і на частотах понад 100 кГц.

Зареєстровані плазмові хвилі збурюються в результаті розвитку двохпотокової нестійкості при взаємодії іоносферної плазми з іонами води (що виникають в результаті дегазації КА і реакції обміну зарядом молекул води з іонами O^+). Це встановлено при порівнянні спектрів, отриманих в приповерхневій зоні і при обльоті КА на відстані ~200 м. Зареєстровані спектри дуже подібні. Разом з тим рівень електростатичних коливань, зареєстрованих при обльоті КА, в ~50 разів менший, ніж в приповерхневій зоні. Інтенсивність збурених плазмових коливань визначається кутом між вектором швидкості КА і магнітним полем при русі КА в напрямку, перпендикулярному магнітному полю. Коливання практично не збурюються, коли відношення компоненти швидкості вздовж магнітного поля до повної швидкості перевищує значення, що дорівнює 0,7.

При аналізі впливу роботи двигунів орієнтації КА на сигнали іонних датчиків (ІД) контуру іонної орієнтації через збурення набігаючого потоку плазми встановлено, що поява газових струмин здійснювала помітний вплив на сигнали ІД навіть в тому випадку,

коли робочим тілом було стиснуте повітря. Дія на сумарний іонний струм ІД відмічалась відразу після початку роботи двигунів (інтервал між спрацюванням двигуна і появою збурень в сигналах ІД не більше 0,1 с) і простежувалась до висот ~2000 км, амплітуда дії залежить від тяги двигуна і змінюється вздовж траси польоту КА. Характер дії за амплітудою і фазою пов'язаний не тільки із взаємним розташуванням двигунів та ІД, а і орієнтацією КА. Час "існування" збурень ІД після закінчення роботи двигуна залежить від сили тяги, тривалості роботи і маси витраченого робочого тіла. При тривалості роботи двигуна ~0,1 с цей час для космічного корабля "Союз" і станції "Салют-6" не перевищував 6с. Збурення сигналів ІД можуть накопичуватись, якщо інтервали між спрацюваннями двигуна менші часу "існування". Потік набігаючих іонів змінювався навіть у тих випадках, коли працюючий двигун віддалявся на відстань до 12 м. Амплітуда збурення ІД найбільша на тих дільницях орбіти, для яких кут між силовими лініями геомагнітного поля і траєкторією руху КА близький до $\pi/2$.

При вимірюваннях в безпосередній близькості від КА, проведених при інжекції в навколишнє середовище води, азоту, вуглекислого газу в рідкій, паро- і газоподібній фазі, розстиковці космічних апаратів та інших подібних операціях, зареєстровано збільшення електростатичних шумів і появу неоднорідностей та іонів з енергією в декілька сотень електронвольт. Підсилення турбулентності, пов'язане з викидами водяної пари із випарників у "Space Shuttle" (такт ~ 4 Гц, тривалість імпульсу ~ 0,2 с.), привело до відносного збільшення збурення електронної концентрації $\Delta Ne/Ne$ більше, ніж в 30 разів на частотах, нижчих 10 Гц і в ~ 3 рази в діапазоні 10-40 Гц. Збільшення електростатичного шуму відмічалось на частотах від 31 Гц до 31 кГц (іноді на частотах вище 100 кГц) і визначалось висотою орбіти, орієнтацією КА, часом доби. Зареєстрована поява іонів з енергією, більшою 1 кеВ.

При роботі основних двигунів "Space Shuttle" (швидкість викиду 1,42 кг/с, склад: H_2O – 0,328; N_2 – 0,306; CO_2 – 0,036; CO – 0,134; H_2 – 0,17) спостерігався той же ефект підсилення турбулентності. Значення електростатичного поля в діапазоні 30 Гц – 10 кГц збільшилось на два порядки (до 0,1 кВ/м), реєструвались також потоки енергійних іонів з $E > 59$еВ та електронів з $E > 2,6$ еВ і

E > 1 кеВ. Аналіз даних, зареєстрованих на перших секундах проведення експерименту Waterhole III показав, що інжекція привела до появи електростатичних коливань, частота яких не перевищувала 1 кГц. Між 2с і 4с після випуску зареєстровано два “викиди” електричних коливань, розділених інтервалом ~0,75с. Разом з тим спектральний склад електростатичних хвиль відрізнявся від наведених вище: в спектрі виділено ряд складових з частотами ~ 30 Гц, ~ 60 Гц і 90 Гц (1 – 2 с після інжекції), однак ці максимуми не дуже помітні.

Плазмові згустки інжектуються з КА для відпрацювання методів нейтралізації електростатичних зарядів, створення плазмових замикачів тросових систем і т.д. Вимірювання електричних полів під час інжекції барієвої плазми з борту модуля “Квант” дозволили встановити, що інжекція плазмового згустку в сторону супутнього сліду приводить до збільшення напруженості електростатичного поля в цій зоні на 2-4 с., а на лобовій поверхні – на ~ 0,5 с. При інжекції плазми в сторону набігаючого потоку в перший момент спостерігається імпульсне збільшення електричного поля. Потім плазма зноситься супутнім потоком, що приводить до збільшення напруженості поля на тильній стороні модуля “Квант”. У випадку інжекції плазми в напрямку, перпендикулярному руху КА, тривалість збурення змінювалась в межах від 0,1 с до декількох секунд.

7.4. Вплив запуску і функціонування РКТ на поширення радіохвиль

Запуск і функціонування виробів РКТ впливають на поширення радіохвиль від КХВ- до НВЧ-діапазону. При цьому можлива зміна практично всіх параметрів сигналу: зміна рівня сигналу, поява розсіювання і багатопроменевості, зсуви частоти і зміни часу поширення модів сигналу, обертання площини поляризації. Частина явищ, пов’язаних із зміною параметрів електромагнітних хвиль, що реєструються, під дією запусків РКТ, була розглянута раніше, тому тут подані матеріали, які ще не розглядались.

Вимірювання рівня електромагнітних шумів в діапазоні 10 Гц – 9 кГц проводились в Північній півкулі в сел. Стєкольний Магаданської обл. під час маневру на орбіті “Space Shuttle” над островом Тасманія.

Аналіз рівня електромагнітного фону в смузі шириною 1 Гц на ряді фіксованих частот показав , що через 2с після початку роботи двигунів “Space Shuttle” спостерігалось значне зниження рівня фону у смузі частот 20 Гц – 1 кГц на протязі 1 хвилини. Падіння рівня фону найбільш чітко помітно в нижній частині досліджуваного діапазону. Через 10 хвилин рівень шумів у всьому досліджуваному діапазоні відновився до вихідного стану (рис.7.2).

Як свідчать графіки на рис.7.2, рівень шумів цього діапазону характеризується високою стабільністю. Падіння рівня шумів пов’язане із зміною показника заломлення і коефіцієнта поглинання в “іоносферній дірі”: поширення радіохвиль через область пониженої концентрації, розташовану поблизу максимуму шару F2, аналогічне їх проходженню через розфокусуючу лінзу.

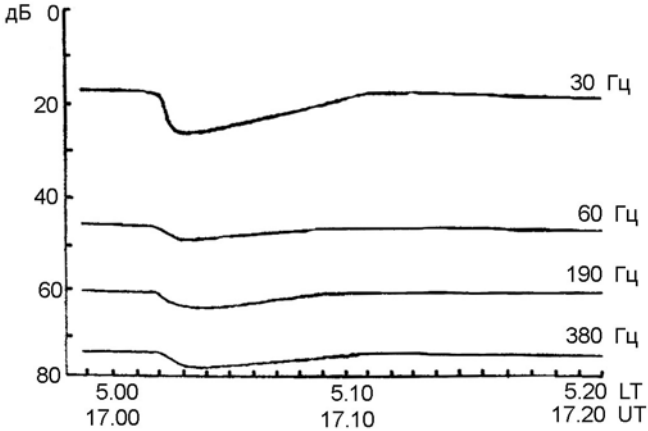


Рис.7.2. Регістограма КХВ-шумів в магнітосполученій точці

Штучно створене іоносферне вікно (“діра в іоносфері”) на о. Тасманія дозволило зареєструвати космічні середньохвильові

радіошуми в діапазоні ~ 2 МГц, які звичайно на земній поверхні не реєструються.

Маневр “Space Shuttle” здійснено під час дуже низької сонячної активності, зимою, в передранішні години в Південній Півкулі, коли електронна концентрація в максимумі шару F мінімальна. Вимірювання рівня космічних радіошумів на частотах 1,07; 1,36; 1,704; 2,108; 2,75 МГц проводились радіообсерваторією в Хобарді. Рівень шумів на частотах 1,07 і 1,36 МГц залишився незмінним, оскільки електронна концентрація в модифікованій іоносфері була все ще надто високою для проходження космічного радіовипромінювання. Незмінним залишився рівень і на частотах 2,1 і 2,8 МГц, оскільки ці частоти були вищими від критичної частоти незбуреного шару F2. Найбільше збільшення рівня шумів зареєстровано на частоті 1,7 МГц. Сигнал досяг максимуму в 05.40 годин і потім став повільно зменшуватися, поки схід сонця не привів до зростання f_0 F2 і припинення реєстрації космічного шуму.

При похиленому імпульсному зондуванню дія іоносферних збурень на радіосигнал короткохвильового діапазону [46] визначається областю іоносфери, в якій летить ракета. За даними [46] в нижніх шарах іоносфери (області D, E, E – F долина) суттєву роль в формуванні відгуку зворотно-похилого сигналу грає головна ударна хвиля, яка внаслідок високої швидкості руху ракети стає відокремленою. Це призводить до збільшення розмірів області зовнішньої течії. Оскільки стрибок ущільнення має (в масштабах довжини зондуючої радіохвилі) достатньо різку границю, то плазмова частота на ударному фронті може перевищувати частоту зондуючої хвилі. Така поверхня відбиває електромагнітні хвилі так же ефективно, як і металічна поверхня, а її ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) визначається співвідношенням $\sigma = a\pi\rho_1\rho_2$, де a - коефіцієнт відбиття Френеля; ρ_1, ρ_2 - головні радіуси кривизни поверхні в точці, де хвильовий вектор падаючої радіохвилі нормальний до ізорівня збуреної електронної концентрації. Вище 160 – 180 км ЕПР зворотного розсіювання різко падає, оскільки розміри акустичного ударного збурення

значно перевищують довжину зондуючої хвилі, а відхилення Ne на ударному фронті стають малими.

Проліт через іоносферу ракети з працюючим двигуном приводить не тільки до формування відокремленої хвилі, а й до генерації дрібномасштабних неоднорідностей. Результати радіолокаційного зондування в КХВ-діапазоні вздовж осі факела показали, що спектр відбитого сигналу значно відрізняється від спектрів, отриманих в більш високочастотних діапазонах. Як правило, радіосигнал, розсіяний факелом ракети, має кілька спектральних складових. Одна з них пов'язана з відбиттям від корпусу ракети і від відокремленої ударної хвилі. Оскільки вони є порівняно гладкими поверхнями і рухаються із швидкістю ракети, то відбитий сигнал реєструється у вузькій спектральній смузі ("скін-луна"). Друга компонента має широкий спектр і зміщена відносно першої. Її поява пов'язана з розсіюванням радіохвиль на турбулізованих дрібномасштабних неоднорідностях, діапазон швидкостей яких менше швидкості руху ракети на число, що приблизно дорівнює швидкості витікання газу із сопла.

7.5. Оптичні явища при експлуатації РКТ

Експлуатація РКТ (запуск, робота двигунних установок на орбітах тощо) приводить до виникнення в навколоземному середовищі відносно короткочасних і довгоживучих оптичних ефектів, різних за своєю природою [47].

Результати фотографування [47] запуску КА "Космос-1715" дають можливість припустити газопилову природу утвореної хмари. Виконана оцінка розміру часток у вказаній хмарі (≈ 0,03–0,07 мкм). Аерозолем в хмарі може бути конденсат водяної пари (до 75 % продуктів згоряння), яка утворюється при надзвуковому розширенні вихлопного газу в атмосфері і його охолодженні.

Аналіз експериментальних даних свідчить, що хмара розширюється вверх і гальмується при русі вниз, в більш щільні шари атмосфери. Після завершення дифузійного процесу, коли викинута маса продуктів згоряння досягне густини фонової атмосфери, хімічний склад газу на кожній висоті виявиться

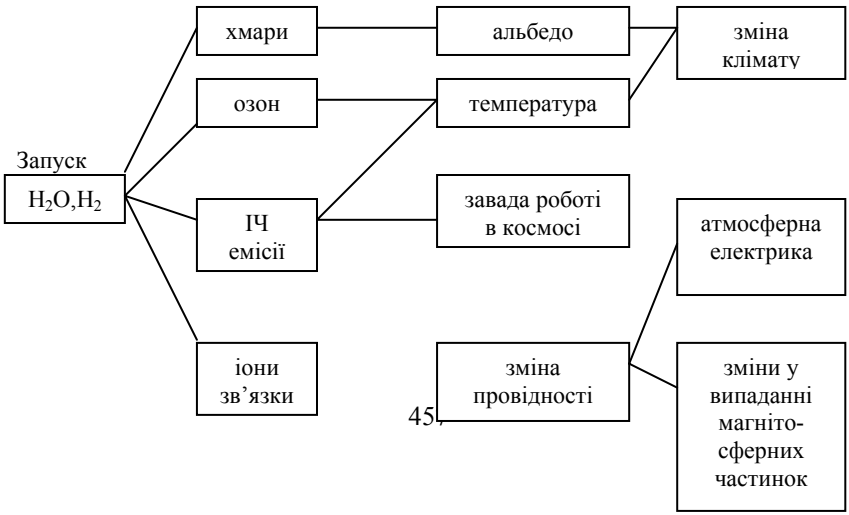
зміненим відносно початкового. Процес модифікації середовища буде визначатись не тільки простим змішуванням продуктів згоряння з атмосферними газами, а й протікаючими аерономічними реакціями, що може привести до підсилення або до послаблення природних емісій атмосфери.

7.6. Теоретичні оцінки впливу на іоносферу продуктів згоряння двигунних установок з рідким та твердим паливом

Просторово-часові характеристики збурення в іоносфері під час запуску РН суттєво залежать від складу і кількості викинутих продуктів згоряння палива, траєкторії польоту РН, геліогеофізичних умов запуску (час доби, сезон, рівень сонячної і геомагнітної активності, геомагнітна широта). Очевидно, для теоретичної оцінки реакції іоносфери на запуск РН необхідно в кожному конкретному випадку виконати розрахунки за моделями, які відповідають різним іоносферним областям (D, E, F1, F2) з врахуванням дії продуктів згоряння палива на фотохімічні процеси в цих областях.

7.6.1. *Область D іоносфери*

Загальна схема фізичних процесів і можливих наслідків запусків РКТ на середню атмосферу і нижню іоносферу показана на рис.7.3.



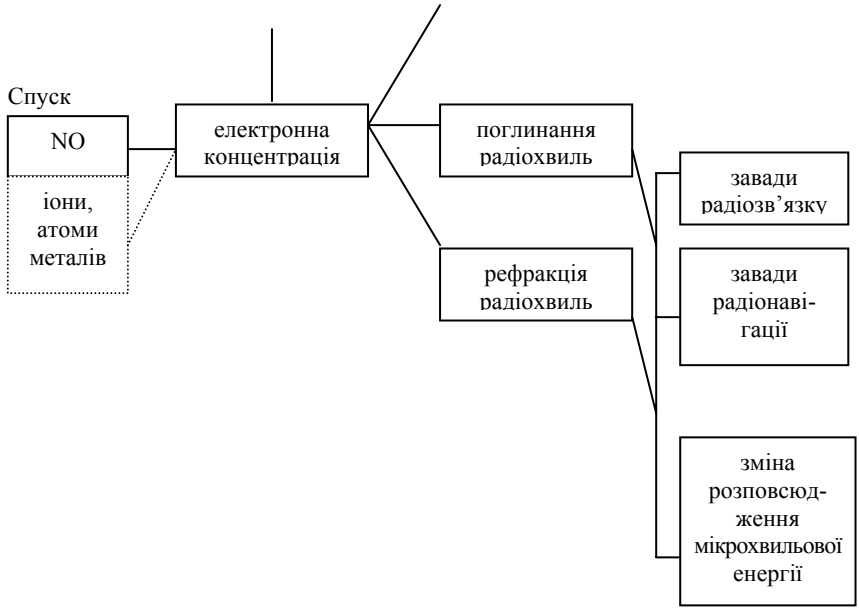


Рис.7.3. Схема фізико-хімічних процесів і наслідків запусків РКТ на середню атмосферу

Для теоретичної оцінки дії продуктів згоряння твердих і рідких ракетних палив на іонний склад і електронну концентрацію Ne в нижній іоносфері можна скористуватись моделлю, детально обгрунтованою і описаною в роботі [48]. При розробці цієї моделі враховано той факт, що при роботі ДУ ракет в атмосферу викидаються в значних кількостях продукти згоряння H_2O, H, H_2, CO_2, NO, HCl, Cl. Вони, з одного боку, самі впливають на процеси перетворення іонів, з іншого – приводять до зміни концентрацій інших малих складових (O, O_2, O_3, NO_2, ClO, HOCl), які впливають на іонний склад та електронну концентрацію. В моделі враховано 140 фотохімічних процесів для заряджених часток і нейтральних складових. Це дозволяє використовувати її для оцінки як поведінки заряджених компонентів в нижній іоносфері при запусках рідинних і твердопаливних РН, так і зміни нейтрального складу атмосфери.

Особливістю моделі є схема процесів, яка дозволяє розглянути механізм дії хлорвміщуючих продуктів згоряння

твердого ракетного палива на Ne – перетворення негативних іонів $O_2^-, CO_3^-, NO_2^-, NO_3^-$, від яких є ефективні шляхи відлипання електронів, в дуже стабільні іони Cl^-. Швидкість єдиного процесу відлипання електронів від Cl^- залежить від концентрації атомарного водню H, який безпосередньо міститься в продуктах згоряння, а також утворюється при взаємодії з середовищем таких продуктів згоряння, як H_2O, H_2, Cl.

Просторово-часовий розподіл компонентів продуктів згоряння, що мають великі фотохімічні часи життя $\tau_{\varphi x}$ на висотах мезосфери (H_2O, CO_2, NO, HCl, H_2) визначається рівнянням:

$$n_i(r,t) = S_i(4\pi Dt)^{-3/2}\exp(-r^2/4Dt) + n_{io}, \qquad (7.1)$$

з припущенням, що цей розподіл зумовлюється тільки процесами дифузії, а джерело викиду є миттєвим і точковим. В рівнянні (7.1) S_i – кількість викинутих молекул на даній висоті при Δh = 1км, D – коефіцієнт турбулентної дифузії; r – відстань від точки викиду; n_{io} – концентрація компонента в фоновій атмосфері. Концентрація компонентів продуктів згоряння, у яких $\tau_{\varphi x}$ суттєво змінюється з висотою (для деяких з них – від декількох секунд на h = 50 км до тисячі і більше секунд на h = 90 км), розраховується для моментів t < $\tau_{\varphi x}$ на даній висоті з допомогою (7.1), а для t > $\tau_{\varphi x}$ - із рівняння нерозривності:

$$dn_j/dt = Q_j - L_j n_j - D\left[n_j(t) - n_{jo}\right]/(r - r_o)^2 \qquad (7.2)$$

Тут $Q_j, L_j n_j$ - швидкості утворення і втрат j-того компонента; r_o - відстань, на якій концентрації компонентів, що викидаються, присутні в фоновій атмосфері і розраховуються за допомогою (7.1), стають менше n_{io}.Концентрації решти малих складових, які включені в модель і не містяться в продуктах згоряння ракетних палив, також розраховуються із рівняння (7.2), яке дозволяє врахувати вплив як фотохімічних процесів, так і дифузії, роль якої зростає через виникнення градієнтів концентрацій в збуреній області простору.

Через складність питання про агрегатний стан викинутих продуктів згоряння (насамперед H_2O) і суперечливості експериментальних даних і теоретичних розрахунків в виконаних за моделлю роботи [48] розрахунках прийнято, що компоненти продуктів згоряння знаходяться в газоподібному стані. З цієї точки зору наведені результати можна розглядати як максимально можливі ефекти.

Для визначення дії РН різних типів на нижню іоносферу виконані розрахунки для твердопаливної ракети “Тополь” і рідинної ракети “Союз”, які на h = 50-90 км викидають в НПС маси М продуктів згоряння відповідно ~ 6,2 і 15,7 т. Фонові концентрації всіх заряджених компонентів визначені з врахуванням всіх джерел іонізації в залежності від широти, сезону і рівня сонячної активності.

Загальна картина зміни електронної концентрації (у відносних одиницях Ne / Neo, де Neo – фонова концентрація електронів) на h = 50-70 км з моменту викиду продуктів згоряння ракет “Тополь” і “Союз” для відстані r = 0,3 км від джерела викиду (вона завідомо перевищує для цих ракет відстань, на якій зрівнюються густини викинутих продуктів згоряння і фонової атмосфери), показана на рис.7.4.

Слід відмітити загальну тенденцію зменшення Ne при запусках обох ракет з найбільш сильним падінням у випадку твердопаливної РН, а також складну зміну Ne / Neo з максимумом на t = $(1\text{-}1{,}3) \cdot 10^3$ с на h = 50-70 км для “Тополя” і на h = 60 км – для РН “Союз”.

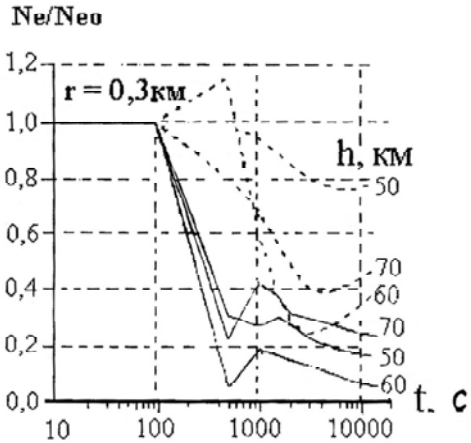


Рис.7.4. Зміна електронної концентрації в нижній частині області D при запуску ракет “Тополь” (–) і “Союз” (- - -)

Такий характер зміни Ne пояснюється зміною під дією продуктів згоряння, які грають визначальну роль в балансі іонізації в нижній частині області D [48]. При запуску твердопаливних РН в результаті викиду великих кількостей HCl і подальшого збільшення концентрацій Cl і ClO діє описаний вище механізм перебудови складу негативних іонів, який приводить до збільшення долі Cl і падінню Ne, а відмічений надто короткочасний максимум Ne на фоні загального її падіння викликаний відлипанням електронів від іонів Cl^- під дією атомарного водню H, що утворився в результаті дисоціації HCl і H_2O. При запуску рідинної РН діє інший, менш ефективний механізм зниження Ne – в результаті дисоціації великих кількостей викинутої H_2O і протікання ряду хімічних процесів зменшуються концентрації кисневих складових O, O_3 і падає ефективність відлипання електронів в ланцюгу: $CO_3^- \to O_2^- \to e$. В результаті цих процесів збільшуються концентрації H, що приводить до відлипання електронів від фонових іонів Cl^- і короткочасного підвищення Ne на h = 60 км.

На більшій відстані від місця викиду продуктів згоряння обох РН відбувається тільки монотонне зниження Ne, яке починається пізніше, оскільки потрібно більше часу, щоб викинуті компоненти досягли на цій відстані концентрацій, які суттєво перевищують фонові.

Характерно, що із збільшенням відстані ефективність дії рідинної РН зменшується швидше, ніж твердопаливної. Слід відмітити, що в цілому ефекти дії будь-яких РН на нижню іоносферу суттєві лише на невеликих відстанях (r = 2 км) від джерела викиду продуктів згоряння.

На h = 80-90 км, як видно з рис.7.5, при запусках обох РН відбувається зниження Ne, яке зумовлене підсиленням під дією викинутої H_2O процесу перетворення простих молекулярних іонів O_2^+ і NO^+ в іони-зв'язки. Значно більший викид H_2O у РН "Союз", ніж у "Тополя", приводить до більш сильного падіння Ne на цих висотах при запуску рідинної ракети.

Аналогічні результати відносно зміни електронної концентрації отримані для більш потужних рідинних ракет, ніж "Союз" – важкого класу "Ангара" та середнього класу "Рокот".

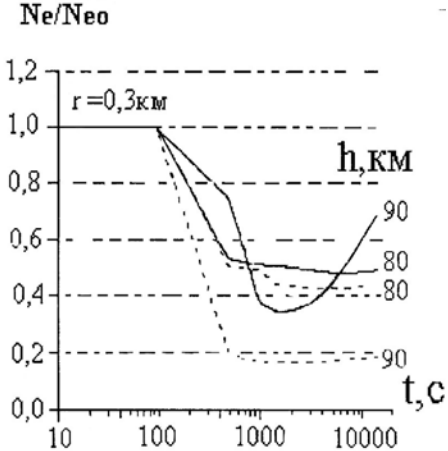


Рис.7.5. Зміна електронної концентрації
в верхній частині області D при запусках РН "Тополь" (–) і "Союз" (- - -)

З приведених вище результатів можна зробити наступні висновки:

1) електронна концентрація при викидах продуктів згоряння ракетних палив знижується на всіх висотах, причому ступінь падіння і тривалість ефекту залежить від висоти і відстані, від місця викиду продуктів згоряння;

2) на висотах h < 70 км більш сильний вплив на іонний склад і Ne здійснюють твердопаливні РН, а h = 80-90 км – рідинні;

3) основним активним компонентом продуктів згоряння твердого палива є HCl і в значно меншій мірі H_2O, а для рідких ракетних палив лише H_2O.

7.6.2. *Області E і F1*

Ефект дії РН на ці іоносферні області оцінювався на основі теоретичної моделі, що враховує як процеси, зумовлені викидом продуктів згоряння твердого і рідкого ракетного палива, так і процеси, які формують іонізаційний баланс в природних (фонових) умовах [49]. Для цього в моделі розраховуються швидкості іонізації атмосфери з врахуванням залежності інтенсивностей випромінювань у всіх основних іонізуючих діапазонах довжин хвиль і в окремих лініях від рівня сонячної активності. Через сезонні розподіли поглинаючих компонентів, що іонізуються, атмосфери O_2, N_2, O і NO враховується залежність фонової іонізації від сезону. В фотохімічну частину моделі включені іонно-молекулярні реакції перетворення первинних іонів O^+, N_2^+, O_2^+ в іони NO^+ і O_2^+, домінуючі в природних умовах, а також процеси за участю молекул $H_2O, CO_2, H_2, NO, HCl, Cl,$ які містяться в продуктах згоряння різних ракетних палив.

Спочатку для конкретних геліогеофізичних умов (широта, сезон, час доби, рівень сонячної активності) розраховуються фонові (тобто при відсутності викидів продуктів згоряння ракетних палив) концентрації всіх заряджених компонентів, що використовуються потім як початкові значення при моделюванні ефектів запусків РН.

Розподіли в просторі і в часі викинутих продуктів згоряння знаходяться з припущенням, що вони визначаються лише процесами молекулярної дифузії в багатокомпонентній суміші газів. При цьому коефіцієнти дифузії D_i залежать від температури T, густини атмосфери M і виду газу, що викидається. Для бінарної суміші газів коефіцієнт дифузії має вигляд [1]:

$$D_i = A_i T^b / [M], A_i = 0{,}75(2k/\pi\mu)^{0,5}/(d_1 + d_2)^2, \qquad (7.3)$$

де $\mu = m_1 m_2 /(m_1 + m_2)$ – приведена маса; m_1 і m_2 – маси молекул; d_1 і d_2 – діаметри молекул; k – константа Больцмана; $b = 0{,}5 - 0{,}6$ [1].

Коефіцієнт дифузії для кожного із викинутих газів в багатокомпонентній атмосфері (на висотах, що розглядаються, це O_2, N_2, O) визначається за допомогою виразу:

$$D_i = \left(\sum_j D_{ij}^{-1} \right)^{-1}, \qquad (7.4)$$

де D_{ij} – бінарний коефіцієнт дифузії для кожного із компонентів продуктів згоряння.

Розрахунки, що визначають дію твердопаливної РН “Тополь” і рідинної РН “Протон” на Е – область, проведені в припущенні точкового ізотропного джерела викиду, дають відсутність змін Ne на h = 100-130 км і дуже незначну зміну (на ~ 5-10 %) зменшення Ne на h = 140 км. Викид продуктів згоряння твердопаливної ракети приводить до суттєвої зміни нейтрального та іонного складу в області радіусом ~ 2 км. Однак росту концентрацій складних іонів H_3O^+ і H_2O^+ з коефіцієнтом рекомбінації в 1,5 – 2 рази більшим, ніж для звичайних іоносферних іонів NO^+ і O_2^+, недостатньо для суттєвої зміни Ne. В той же час процеси прилипання електронів до

компонентів, що містять Cl, продуктів згоряння при порівняно низьких температурах в E – області надто повільні і не здатні привести до помітного падіння Ne.

Зміна електронної концентрації на висотах 140-190 км на відстані r = 10 км від осі викиду при запуску в умовах дня РН “Ангара” середнього класу показана на рис.7.6.

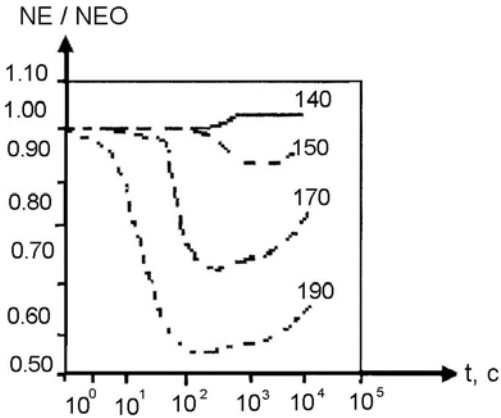


Рис.7.6. Зміна електронної концентрації на висотах 140-190 км у літніх умовах дня на відстані r=10 км від осі викиду ПС “Ангара” середнього класу

У цьому випадку дифузія продуктів згоряння розглянута в наближенні циліндрично-симетричного джерела продуктів згоряння з поправкою на неоднорідність атмосфери. Концентрація компонентів продуктів згоряння розрахована за рівнянням:

$$n_i\left(r,t\right)=\left[N_i*\frac{1}{\pi*L*\left(R_0^2\right)}\right]*\exp\left(\frac{-r^2}{(R_0^2+D_i*t)}\right)*\exp\left(\frac{-D_i*t}{H^2}\right) \quad (7.5)$$

Тут N_i та D_i – кількість молекул і коефіцієнт дифузії викинутого компонента, H – шкала висот атмосфери. Протяжність області викиду визначається швидкістю і часом польоту РН або РБ. Початковий радіус R_0 знаходиться, виходячи із рівності концентрацій продуктів згоряння і фонової атмосфери.

Як свідчать графіки, ступінь дії продуктів згоряння на іоносферу із збільшенням висоти зростає. Це пов’язується із збільшенням з висотою долі іонів O^+ в фонових умовах. Швидка взаємодія таких іонів з компонентами продуктів згоряння і

подальша рекомбінація утворених складних іонів H_3O^+, H_2O^+, OH^+ з електронами забезпечує зниження Ne.

7.6.3. *Область F2*

Незважаючи на різноманітність і складність фізичних процесів і явищ, які відбуваються в верхній атмосфері, досвід проведення досліджень щодо оцінки локальних в просторі і часі ефектів дії і запусків ракет на F2-область іоносфери показав, що цілком конкретні результати можна отримати на простих моделях. Оскільки основний механізм впливу продуктів згоряння ракетних палив – це швидке перетворення домінуючих в F2 – області іонів O^+ в складні іони H_3O^+, H_2O^+, OH^+ , які швидко рекомбінують з електронами, і враховуючи, що на висотах h>220 км $[O^+] \approx Ne$, можна обмежитись менш складною схемою, ніж для F1-області.

Розподіл в просторі і часі викинутих продуктів згоряння визначається з рівняння (7.5) в наближенні циліндрично-симетричного джерела продуктів згоряння. Як правило, активна дільниця траєкторії польоту більшості ракет закінчується на висотах F1-області, а на великих висотах працюють двигунні установки (ДУ) розгінних блоків.

Зміна Ne на висотах 250-400 км при роботі РБ “Бриз” в складі РН “Рокот” показана на рис.7.7 на відстані r = 50км від осі викиду

продуктів згоряння. Видно, що в цьому діапазоні найбільше падіння в 2,5 рази спостерігається для цього РБ на h=250км. Однак таке зниження рівня іонізації є короткочасним, і Ne в залежності від h та r відновлюється до фонових значень за 1,5-3 години. Із збільшенням h ступінь падіння електронної концентрації зменшується, однак понижені Ne існують на протязі більш тривалого часу.

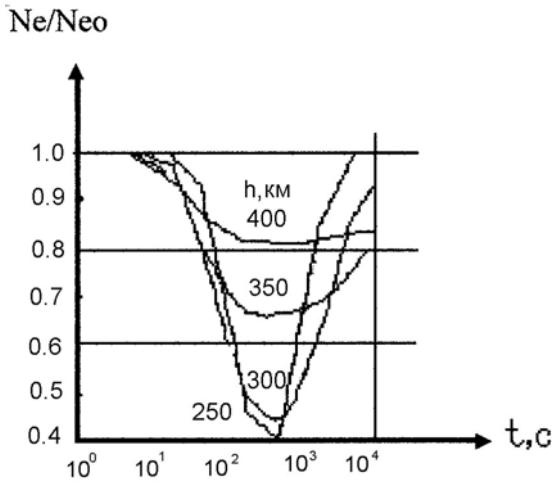


Рис.7.7. Зміна електронної концентрації на різних висотах в F2 – області іоносфери на r = 50км при роботі РБ “Бриз”

Порівняльні дані для визначення ефективності дії на F2 – область продуктів згоряння ДУ розгінних блоків, які працюють на різних паливах, наведені в табл.7.2.

Таблиця 7.2

Мінімальні значення Ne/ Neo в F2 – області іоносфери при роботі різних РБ

h, км	11С824М		“Бриз – М”		КВРБ	
	r = 20км	r = 50км	r = 20км	r = 50км	r = 20км	r = 50км
250	0,18	0,47	0,15	0,43	0,11	0,23
300	0,16	0,47	0,18	0,5	0,07	0,20

350	0,34	0,65	0,41	0,7	0,12	0,40
400	–	–	0,68	0,85	0,41	0,66

Як свідчать результати розрахунків в табл.7.2, найбільш сильний вплив на F2 – область здійснює КВРБ за рахунок того, що викид найбільш ефективних плазмогасячих компонентів H_2O та H_2 у нього значно більший, ніж у інших РБ при загальній масі викиду продуктів згоряння на 1км значно меншій, ніж у 11С824М.

Для розгляду довготривалих та крупномасштабних змін в іоносфері, що виникають при роботі РКТ на висотах F2 – області, необхідно використовувати складні дво- тримірні моделі, які в більшій чи меншій мірі враховують такі процеси:

1. Розширення нейтрального газу продуктів згоряння, включаючи, по можливості, ефекти конденсації, дифузії в неоднорідній атмосфері і перенесення вітрами.
2. Плазмову динаміку, включаючи потік між півкулями вздовж магнітних силових ліній і перенесення за допомогою електричних полів і вітрів.
3. Теплові процеси в модифікованій атмосфері, що описують зміни в температурі електронів та іонів.
4. Механізм градієнтного дрейфу, що грає важливу роль при створенні плазмових нестійкостей.

Підводячи підсумки результатів моделювання ефектів дії продуктів згоряння ракетних палив на F2 – область іоносфери , слід відмітити, що в більшості випадків в розроблених моделях розглядається точковий викид нейтральних газів, що міститься в продуктах згоряння палива без зіставлення з експериментальними даними, отриманими при запусках ракет.

7.7. Вплив геліогеофізичних умов при запусках ракет та характеристики іоносфери

Геоліогеофізичні умови включають час доби, сезон, сонячну активність, геомагнітну широту, а також поняття спокійного і збуреного середовища. Вплив цих умов на характеристики іоносферних збурень може бути суттєвим, хоча поки що при плануванні запусків ракет цей фактор не враховується. В цій

ситуації оцінка і вибір найбільш “сприятливих” геліогеофізичних умов для запусків ракет, коли амплітудні та просторово-часові характеристики збурення мінімальні, має велике наукове і практичне значення.

Для проведення оцінок вибрано один із аналогів РН “Протон”, який має протяжну активну дільницю польоту. Зроблено припущення, що РН може бути запущена на екваторіальних і субекваторіальних широтах. Всі розрахунки виконані для 12 годин за місцевим часом LT (день) та 0 годин LT (ніч), рівня сонячної активності $F_{10,7}$=100-120 (мінімум активності) та $F_{10,7}$=250 (максимум), зимового і літнього сезонів. Аналіз результатів розрахунків проведено лише за варіаціями відношення Ne(r,t,h)/Neo(h), при цьому увага приділяється мінімальним значенням $(Ne/Neo)_m$, часу t_m досягнення цих значень, а також відновлення Ne до природного фону.

Як показали розрахунки, *в області D* ($50 \le h \le 90$ км) вплив сонячної активності на поведінку Ne практично відсутній. Аналогічний висновок можна зробити і відносно геомагнітної широти.

Роль часу доби суттєво залежить від висоти. В нижній частині області D ($h \le 70$ км) при викидах продуктів згоряння в нічних умовах Ne не змінюється , що суттєво відрізняється від значних варіацій Ne при денних запусках. Різниця в зміні Ne в цьому випадку пояснюється тим, що через відсутність вночі процесів фотодисоціації компонентів продуктів згоряння H_2O та H_2 не змінюються фонові розподіли малих, насамперед, кисневих складових, які впливають на електронну концентрацію через реакції відлипання від негативних іонів. На висотах $h \approx 80$-90 км картина інша. Вночі незалежно від r падіння Ne відбувається до менших значень, а на r=1 км скорочується і час досягнення мінімальних значень $(Ne/Neo)_m$. Така поведінка Ne пояснюється тим, що вночі на цих висотах в складі позитивних іонів в фонових умовах уже переважають іони – зв’язки з високим коефіцієнтом рекомбінації і деяка додаткова їх кількість, яка утворюється при викиді H_2O, слабо впливає на ефективний коефіцієнт рекомбінації $\alpha_{еф}$ електронів і відповідно на Ne. На відміну від цього вдень на цих висотах відбувається значна перебудова іонного складу з великими змінами ефективного коефіцієнта рекомбінації.

Надто складним є вплив сезону на зміни Ne – ефекти залежать не тільки від висоти, а від врахування або виключення із схеми реакцій іона Cl^-. Без врахування Cl^- на висоті h=50-60 км вдень в зимовий сезон падіння електронів (в одиницях Ne/Neo) більше, ніж влітку, з урахуванням цього іона – деякий короткочасний ріст Ne, який відсутній влітку на r>0,5 км, з подальшим спадом до менших значень. Ці відмінності в змінах Ne при запусках РН зумовлені сезонними варіаціями малих нейтральних складових (насамперед H та O) і відповідними відмінностями концентрацій негативних іонів в фонових умовах. На h=70-90 км вплив сезону незначний.

Описані особливості поведінки Ne в залежності від часу доби і сезону року показані відповідно в табл.7.3. та 7.4.

Таблиця 7.3

Вплив часу доби на зміни електронної концентрації в області D

h, км	Час доби			
	День		Ніч	
	r=0,5 км	r=1,0 км	r=0,5 км	r=1,0 км
80	$0,41/7,2*10^3$	$0,43/2,0*10^4$	$0,84/5,4*10^3$	$0,84/7,2*10^3$
90	$0,16/5,4*10^3$	$0,18/1,6*10^4$	$0,43/5,4*10^3$	$0,43/9,0*10^3$

Примітка. В чисельнику – мінімальні значення $(Ne/Neo)_m$, в знаменнику - час досягнення мінімуму t_m (с).

Таблиця 7.4

Вплив сезону на зміни електронної концентрації в області D

h, км	Сезон			
	Літо		Зима	
	$(Ne/Neo)_m$	t_m ,с	$(Ne/Neo)_m$	t_m ,с
50	0,88/0,84	$2,3*10^4$	0,94/0,68	$2,2*10^4$
60	0,4/0,36	$1,4*10^4$	0,61/0.29	$1,5*10^4$

70	0,50	$1,8*10^4$	0,59	$9,0*10^4$
80	0,43	$2,0*10^4$	0,52	$1,4*10^4$
90	0,18	$1,6*10^4$	0,16	$1,6*10^4$

Примітка. В чисельнику – $(Ne/Neo)_m$ з врахуванням іону Cl^-, в знаменнику - без врахування цього іону, ефект росту Ne/Neo в зимових умовах на h=50, 60 км в таблиці не вказано.

В області висот E, E-F, як було показано в розділі 7.6, просторово-часові та амплітудні характеристики збурення Ne зовсім незначні. Основні причини цього положення - відсутність негативних іонів, переважання в E, E- областях в будь-яких умовах звичайних молекулярних іонів і слабке їх перетворення (при викинутих масах продуктів згоряння) в складні іони з великим коефіцієнтом дисоціативної рекомбінації. Вплив досліджуваних геліогеофізичних умов на Ne дуже малий, оскільки їх врахування не приводить до будь-яких принципових і значних змін в фоновій іоносфері.

Характерні особливості поведінки Ne в області F1 іоносфери можна визначити наступним чином. В нічних умовах з врахуванням точності розрахунків будь-які зміни Ne на всіх висотах і геомагнітних широтах практично відсутні для обох сезонів і будь-яких значень сонячної активності. В умовах дня відбувається падіння Ne, яке підсилюється з ростом h і зниженням сонячної активності $F_{10,7}$. При $F_{10,7}$=120 взимку падіння Ne більше, а при $F_{10,7}$=250, навпаки, менше, за виключенням h=200 км. Більш сильний вплив в цілому запуски РН здійснюють на екваторіальну іоносферу (полігон Куру). Час досягнення мінімальних значень $(Ne/Neo)_m$ на всіх висотах слабо залежить від часу доби, сезону, $F_{10,7}$, геомагнітної широти і визначається, в основному, лише самою висотою (зменшується з ростом h) в результаті збільшення коефіцієнтів дифузії. Вказані особливості варіації Ne/Neo вказані в табл.7.5.

Таблиця 7.5

Варіації $(Ne/Neo)_m$ в області F1 в денних умовах (r=10 км)

h, км	Зима		Літо	
	$F_{10,7}$=120	$F_{10,7}$=250	$F_{10,7}$=120	$F_{10,7}$=250
Екваторіальні широти (п. Куру)				
140	0,96	0,97	0,97	0,94
160	0,82	0,85	0,81	0,81
180	0,57	0,58	0,55	0,57
200	0,35	0,37	0,25	0,37
Середні широти (п. Байконур)				
140	0,89	0,97	0,97	0,96
160	0,79	0,89	0,84	0,86
180	0,54	0,66	0,61	0,64
200	0,35	0,39	0,39	0,45
Субавроральні широти (п. Плєсецьк)				
140	0,99	0,99	0,97	0,97
160	0,94	0,96	0,87	0,91
180	0,79	0,91	0,68	0,73
200	0,45	0,69	0,47	0,54

Закінчення табл.7.5

В табл.7.5 подано зміни концентрації, пов’язані з різними фоновим складом іонів в іоносфері – чим більше початкове відношення концентрацій $[O^+]/N_{eo}$, яке в свою чергу залежить від h, часу доби, сезону, геомагнітної широти, тим сильніша дія продуктів згоряння.

В області F2 іоносфери вплив всіх досліджуваних геліогеофізичних факторів проявляється найбільш сильно.

Оскільки вибрана для розгляду РН викидає на цих висотах приблизно одинакові кількості продуктів згоряння, зміни Ne, що спостерігаються, пов’язані виключно з геліогеофізичними

умовами. В цілому, за виключенням випадку – ніч, зима, $F_{10,7}$=250 на середніх і субавроральних широтах, дія продуктів згоряння на область F2, з одного боку, помітно зменшується з ростом h, однак, з другого боку, час існування області з пониженою Ne залежить від висоти: на h≥320-340 км вона зберігається з Ne/Neo≈0,67-0,83 понад 10^4 с, в діапазоні h≈250-300 км практично відновлюється до фону до моменту t≈10^4с.

Виявлений вплив різних геліогеофізичних факторів на стан F2-області іоносфери пояснюється залежними від широти добовими, сезонними варіаціями та змінами з сонячною активністю трьох іоносферних характеристик: фонового складу іонів (тільки на h<270-290 км, механізм аналогічний описаному вище для області F1), висотного розподілу Neo(h), температури і густини нейтральної атмосфери, зміна яких приводить до відповідних варіацій коефіцієнтів молекулярної дифузії D_i, внаслідок чого продукти згоряння начебто "довше" знаходяться на заданій відстані r, що викликає більше падіння Ne (найбільш помітно це на h>270-290 км). Перехід від дня до ночі, навпаки, супроводжується зменшенням температури і густини повітря, збільшенням D_i і відповідно більш слабким впливом продуктів згоряння на Ne.

Із наведених даних можна зробити такі висновки:

1. За дією на D-область найбільш сприятливими для запуску РН є нічні умови, переважно влітку.
2. При запусках РН в будь-яких геліогеофізичних умовах зміни в шарі E і міжшаровій області E- F незначні.
3. Найменший вплив на F1-область здійснюють запуски РН вночі незалежно від сезону, сонячної активності, геомагнітної широти.
4. Вибір "сприятливих" геліогеофізичних умов за ефектами в F2-області повинен здійснюватись з врахуванням місцеположення космодрому, протяжності активної дільниці траєкторії і типу РН. Оскільки в останні роки спостерігається тенденція до скорочення активної дільниці польоту РН, то область 200 км≤h≤270-290 км є найбільш важливою.

7.8. Тригерні ефекти в іоносфері під час запуску ракет

Як правило, під “тригерним ефектом” розуміють стимулювання запуском РН або роботою ДУ РБ висипання енергійних електронів в атмосферу Землі. Слід відмітити, що прямі експериментальні дані про таке явище при запусках РН відсутні. Однак існують непрямі припущення про можливі локальні висипання електронів внаслідок запусків ракет в субавроральній зоні [43]. Так, за даними спостережень на трьох геофізичних обсерваторіях Архангельського полігону, після запуску ракет з космодрому Плєсецьк в 1991-1993 рр. виявлено ряд змін в магнітному полі і в поведінці іоносферних параметрів, які можна пов’язати з розвитком суббуревих явищ, стимульованих запуском РН (див. розділ 7.1.). В науковій літературі є також відомості про активні експерименти в середньоширотній і авроральній іоносфері на h>100 км, пов’язані із стимульованим висипанням енергійних електронів. В цих експериментах здійснювалась імпульсна або безперервна інжекція плазми та електронів, викидались плазмоутворюючі сполуки (Ba, Cs). Загальною рисою цих експериментів було виникнення в верхній атмосфері іонізованого утворення і ріст провідності середовища. Зміни потоків енергійних електронів, що висипаються (як збільшення, так і зменшення), спостерігались і при викидах плазмогасячих сполук (H_2O, CO_2) в авроральній іоносфері, які приводили також до зміни електронної концентрації та провідності середовища.

Подібні ефекти можливі і при запусках РН, оскільки із ДУ ракет викидається високошвидкісна плазмова струмина, а сам політ ракети супроводжується викидами продуктів згоряння, які є плазмогасячими сполуками.

Для оцінки впливу на іоносферу стимульованого висипання електронів можна скористатись фотохімічною моделлю [50], яка враховує складний комплекс процесів взаємодії енергійних часток електронів із складовими атмосфери та подальші зміни іонного складу.

Рівняння хімічної кінетики має вигляд:

$$\frac{dn_j}{dt} = Q_{ej} + Q_{kj} - L_j n_j$$

де Q_{ej} – швидкість утворення *j*-того компонента електронним ударом, Q_{ej} і $Q_{кj}$ - відповідно швидкості утворення компонента і його загибелі за рахунок хімічних і радіаційних процесів.

Для розрахунку проходження пучка електронів через атмосферу з врахуванням втрат їх енергії на дисоціацію, іонізацію і збудження основних нейтральних компонентів повітря N_2, O_2, O використано напівемпіричний метод [51], розроблений для розв'язування такого роду задач.

Система нерозривності для всіх вказаних компонентів доповнена рівнянням для розрахунку температури електронного газу з врахуванням нагрівання потоками електронів, що висипаються.

Результати розрахунків профілів Ne(h) для фонових умов (пунктирна крива) і для різних моментів часу показані на рис. 7.8.

Як видно з рис.7.8, стимульоване висипання електронів приводить до значного збільшення Ne і утворення максимуму на h=120 км, при чому за час експерименту t=1с концентрація Ne зростає більше, ніж на порядок. Ще більше зростання порівняно з фоновими значеннями спостерігається для інтенсивностей всіх розглянутих емісій. Збільшення тривалості висипання електронів до 10 с приводить до подальшого росту Ne (до двох порядків порівняно з фоновим значенням).

Результати розрахунків дозволяють зробити висновок: якщо запуск РН здатний викликати висипання енергійних електронів, то електронна концентрація в іоносфері в таких умовах може вирости до рівня на h=120 км, який спостерігається під час природних електронних висипань, а інтенсивності ряду емісій можуть навіть переважати ті, що спостерігаються в умовах природних полярних сяйв, що дозволяє стверджувати можливості діагностики "тригерних ефектів" при запусках ракети як радіофізичними, так і оптичними методами.

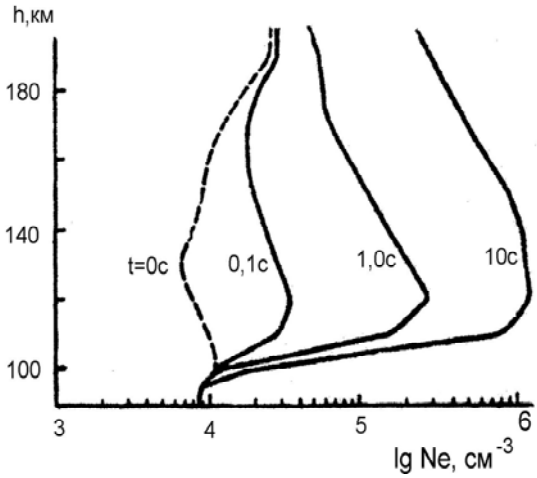


Рис.7.8. Профілі електронної концентрації в умовах тригерного ефекту

Враховуючи значні просторові масштаби області вздовж траєкторії РН, в якій генерується тригерний процес, а також велику тривалість самопідпримуваного збільшення потоку авроральних електронів, яка досягає 3-5 годин в оптимальних для розвитку цього процесу умовах, можна судити про можливість генерації крупномасштабних збурень, найбільш вірогідних при запусках РН з полігону Плєсецьк. Як відомо, збурення такого роду приводять до помітних порушень поширення радіохвиль на наземних і наземно-космічних лініях зв'язку, управління, навігації, здійснюють вплив на функціонування штатних радіотехнічних комплексів різних систем, які базуються в північних широтах.

7.9. Вплив запусків ракет на нейтральний склад верхньої атмосфери

До складу продуктів згоряння ДУ РН і РБ входять гази, які мають певну хімічну активність і є складовими природної верхньої атмосфери. Одним із газів, що входить до складу продуктів згоряння є N_2 – основний компонент в нижній термосфері (h=100-200 км), інші гази із складу продуктів згоряння відносяться до малих складових. При перемішуванні продуктів згоряння з компонентами навколишнього середовища можливе виникнення достатньо стійких за часом крупномасштабних областей із зміненим відносним складом.

Викид продуктів згоряння ракетного палива супроводжується розширенням хмари продуктів згоряння і витісненням оточуючого атмосферного газу в процесі вирівнювання тиску в зоні викиду. Релаксація продуктів згоряння в атмосфері відбувається в результаті дифузії і супроводжується фотохімічними реакціями компонентів атмосфери з продуктами згоряння ракетного палива.

Моделлю сліду продуктів згоряння можна вважати хмару, циліндрично симетричну і витягнуту вздовж горизонталі. Розширення такої хмари можна визначити таким, що проходить в дві стадії:

1. Гідродинамічне розширення до поперечних розмірів радіусу R_0, при якому відбувається вирівнювання тисків в хмарі продуктів згоряння і навколишньому середовищі, супроводжуване термалізацією газів продуктів згоряння в атмосфері до моменту вирівнювання сумарних концентрацій всіх газів.

2. Дифузійне розмивання хмари продуктів згоряння в атмосфері, виходячи з її початкового дифузійного радіусу R_0.

Найбільш значних змін нейтрального складу атмосфери можна чекати в інтервалі висот h=100-200 км, на який припадає активна дільниця траєкторій польоту більшості РН.

Розрахунки просторово-часових параметрів сліду продуктів згоряння для широти полігону Плєсецьк були виконані для

найбільш характерних і важливих для верхньої атмосфери складових, що містять водень – H_2(H), H_2O, а також CO_2 у зв'язку з важливою роллю цього компонента в тепловому балансі нижньої атмосфери.

В роботі [51] розглянута трьохмірна модель крупномасштабного і глобального розподілу газів, які утворюються в верхній атмосфері в результаті роботи ракетних двигунів. Для викиду 5т H в інтервалі висот h=100-200 км вдень на середніх широтах отримані розміри хмари в горизонтальному напрямку R_0=3 км на h=100 км і R_0=100 км на h=200 км.

Висотний розподіл долі антропогенного водню (визначеної як $\frac{n-\overline{n}}{n}$, де $\overline{n}$ – фонова концентрація водню в центрі хмари через дві, п'ять і десять діб після викиду (рис.7.9). Сильне перевищення інжектованого H над фоновим на висотах h=100-200 км зберігається навіть через десять діб після викиду, в той час як на h>300 км доля антропогенного водню складає лише кілька відсотків від його фонової концентрації. Така зміна долі антропогенного водню пояснюється в [51] різким збільшенням з висотою коефіцієнта молекулярної дифузії, а також сильним впливом процесу витікання H із верхньої атмосфери на великих висотах. На рис.7.10 подані розрахункові горизонтальні розподіли відносного перевищення антропогенного H над фоновим на h=150 км через дві, п'ять, десять діб після викиду (суцільні криві), а також при гіпотетичній серії через п'ять

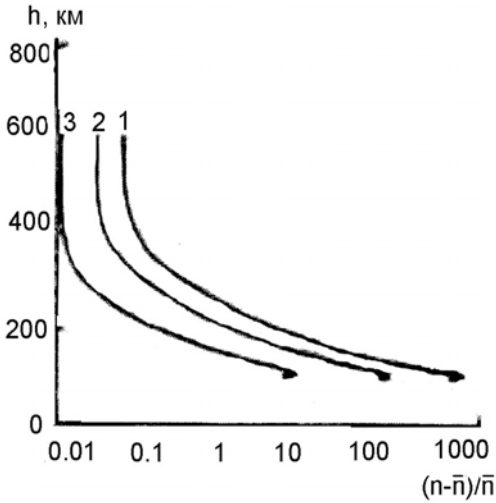


Рис. 7.9. Висотний розподіл долі антропогенного водню в центрі хмари через дві (1), п'ять (2) та десять (3) діб

діб (пунктирна крива). Видно, що перевищення концентрації H над фоновою має місце в радіусі 100 км від місця викиду.

Приведені в роботі [51] розрахунки показали великий вплив геліогеофізичних умов (зокрема, рівня сонячної активності) при пусках ракет на ступінь антропогенного забруднення верхньої атмосфери. Так, завдяки тому, що при низькій сонячній активності уповільнюється процес витікання H і збільшується його фонова концентрація в верхній атмосфері, ефект одиничного викиду H в таких умовах виявляється малим, однак різко зростає ефект серії викидів. Згідно з розрахунками, в результаті проведення серії пусків ракет з інтервалом в п'ять діб при низькій сонячній активності доля антропогенного водню відносно фонового може досягти більше десятка відсотків в глобальному масштабі.

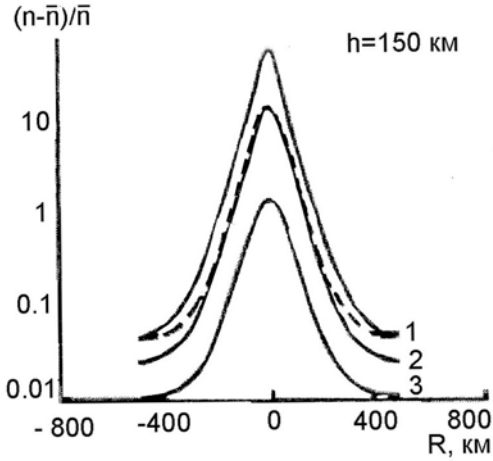


Рис.7.10. Горизонтальний розподіл відносного перевищення антропогенного водню над фоновим на висоті 150 км через дві (1), п'ять (2) та десять (3) діб – те ж для серії пусків з інтервалом п'ять діб

Висотні розподіли відносного перевищення концентрації CO_2 над фоновими значеннями в центрі хмари для різних моментів часу після викиду розраховані з припущенням, що РН "Протон" викидає близько 40т CO_2 в інтервалі h=100-200 км, показані на рис.7.11.

Завдяки значно меншому коефіцієнту молекулярної дифузії $D(CO_2)$ в порівнянні з D(H) навіть через 10 діб вклад антропогенного CO_2 в його загальний вміст більший, ніж аналогічний вклад водню. В той же час малий коефіцієнт дифузії приводить до більш

повільного горизонтального розпливання хмари CO_2. Як показують розрахунки, хмара CO_2 за час біля п'яти діб розширюється до розмірів порядку кількох сотень кілометрів, при цьому концентрація знижується дуже повільно. Це, в свою чергу, означає, що у випадку проведення серії пусків ракет з інтервалом, наприклад, в п'ять діб CO_2 буде накопичуватись значно швидше, ніж Н. З врахуванням процесу фотодисоціації CO_2, який стримує накопичення цього компонента в верхній атмосфері, у випадку вказаної серії пусків ракет збільшення долі CO_2 в порівнянні з одноразовим викидом не перевищують одного порядку фонового значення.

Вплив сонячної активності і сезону на розподіл антропогенного CO_2 визначається насамперед зміною коефіцієнта молекулярної дифузії. Максимальне накопичення CO_2 в верхній атмосфері, як і накопичення водню, буде відбуватись при низькій сонячній активності і в зимовий сезон.

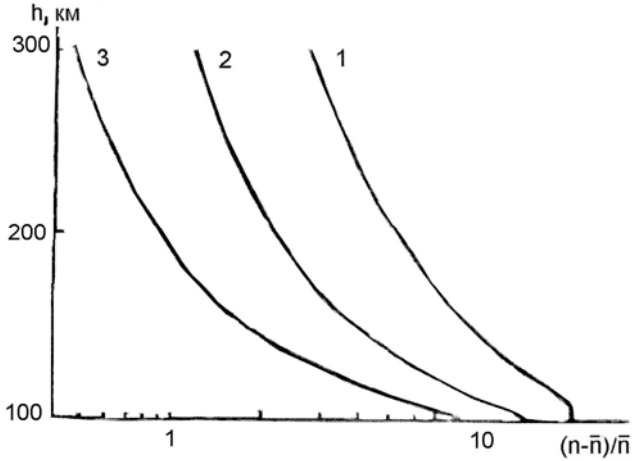


Рис. 7.11. Висотні розподіли відносної долі CO_2 в місці викиду через дві (1), п'ять (2) та десять (3) діб

Іншим видом дії РКТ на верхню атмосферу можуть бути теплові ефекти, пов'язані з процесом термалізації продуктів згоряння в атмосфері при гальмуванні потоку газів продуктів

згоряння ДУ, що супроводжується перекачкою енергії часток продуктів згоряння на поступальні, обертальні і коливальні ступені свободи атмосферних часток.

Для ілюстрації можливих теплових ефектів дії продуктів згоряння ракетного палива на атмосферний газ в табл.7.6 наведені результати розрахунків для РН “Ангара” середнього класу. Тут подані характерні радіуси циліндричної області атмосфери $R_{тепл}$, яка оточує траєкторію руху РН і містить речовину з запасом теплової енергії, що дорівнює кінетичній енергії продуктів згоряння, викинутих на кожному відрізку траєкторії.

Таблиця 7.6

Оцінки теплового ефекту продуктів згоряння РН “Ангара”

Висота h, км	100	120	150	170	190
$T_{атм}$, К	205	377	706	834	917
χ, $см^2с^{-1}$	$1{,}0*10^6$	$3{,}0*10^7$	$4{,}0*10^8$	$1{,}0*10^9$	$4{,}0*10^9$
$\tau_{тепл\ (атм)}$, с	$2{,}0*10^5$	$2{,}0*10^4$	$7{,}0*10^3$	$4{,}0*10^3$	$2{,}0*10^3$
$R_{тепл\ (атм)}$, км	7,03	15,6	15,8	21,1	26,3
$H_{атм}$, км	6,0	11, 0	24,0	30,0	40,0

Розрахунки $R_{тепл}$ проводилися за допомогою формули:

$$R_{тепл} = \left[12q\varepsilon / \left(3\pi k H_{атм} T_{атм} V_p\right)\right]^{0,5},$$

де q (кг/с) – викиди продуктів згоряння, ε=7000 ккал/кг – питома теплота горіння ракетного палива, k – стала Больцмана, V_p – швидкість потоку продуктів згоряння вздовж траєкторії польоту РН.

В табл.7.6 наведені також висотний розподіл фонової температури $T_{атм}$, коефіцієнти температуропроводності верхньої

атмосфери χ і характерні часи релаксації температурних неоднорідностей в природній верхній атмосфері, розраховані як

$$\tau_{тепл(атм)}=H^2_{атм}/2\,\chi.$$

Із аналізу отриманих даних видно, що просторові масштаби теплового збурення середовища з підвищенням температури до 2 раз на $h\geq150$ км значно менші характерних масштабів атмосфери $H_{атм}$, тобто релаксація до фону буде протікати в часі, суттєво меншому від значень $\tau_{тепл(атм)}$. Однак на h=100-120 км, де $R_{тепл}> H_{атм}$ теплова дія РН "Ангара" суттєво більша.

8. ВПЛИВ РКТ НА НАВКОЛОЗЕМНИЙ ПРОСТІР

8.1. Вплив двигунних установок ракет-носіїв і розгінних блоків

До можливих екологічних ефектів дії ДУ РН і РБ на навколоземний космічний простір відносяться генерація і модуляція енергійних часток, що висипаються в атмосферу. До цього часу отримані лише непрямі експериментальні обґрунтування можливості існування подібних ефектів, які можуть спостерігатись лише при певних геліогеофізичних умовах. Ці умови розглядаються в даному розділі. Крім того, інтенсивність і сама можливість існування вказаного ефекту можуть залежати від характеру розльоту газу продуктів згоряння ДУ РН або РБ.

Слід відмітити, що характеристики розльоту газу продуктів згоряння ДУ РН і РБ помітно відрізняються, тому вони розглядаються окремо.

Так, для активного відрізку РН типу "Союз", що запускається, наприклад, з космодрому Плєсецьк, інтервал 120–170 км пересікається ракетою за 80 с із середньою швидкістю $W\approx3$км/с. Цьому інтервалу відповідає відстань L=240 км вздовж траєкторії, а сумарна маса M газу продуктів згоряння складає 25-30 т. Початкова швидкість газу $V_o\approx3$ км/с. Близькість значень W і V_o дозволяє вважати, що на будь-якій фіксованій висоті виділеної дільниці траєкторії розліт газової хмари продуктів згоряння має циліндричну геометрію, тобто відбувається в площині, ортогональній до траєкторії РН. Залежність від часу t радіуса R і швидкості V фронту хмари на висоті h в цій площині визначається формулами:

$$R = R_m[\,1- \exp(-t/T)],\ V = V_o \exp(-t/T) \qquad (8.1)$$

$$R_m^2= M/(L\rho_o),\ T = R_m/V_o, \qquad (8.2)$$

де ρ_o – густина фонової термосфери на висоті h; t – час пересічення ракетою висоти h, тобто час початку розльоту газу продуктів

згоряння на цій висоті. Всередині хмари направлена швидкість часток газу V(r) лінійно збільшується з відстанню r від центру хмари, а густина газу ρ(r) однорідна:

$$V(r) = (r/R)V \text{ при } r \leq R;\ V(r) = 0 \text{ при } r > R; \qquad (8.3)$$

$$\rho(r) = \rho_o\ [\ 1+Rm^2/(\pi R^2)] \text{ при } r \leq R;\ \rho(r) = \rho_o \text{ при } r > R, \qquad (8.4)$$

де R і V визначаються співвідношенням (8.1).

Із (8.1) видно, що час t<<T відповідає стадії розльоту газу, коли $R = V_0 t$ і $V = V_0$. В подальшому відбувається гальмування газової хмари через витрати енергії на рух захоплюваної атмосферної речовини і здійснення роботи на подолання зовнішнього тиску. При t = R значення $R \approx 0{,}6Rm$, $V \approx 0{,}4V_0$ і всередині хмари $\rho(r) \approx 1{,}8\rho_0$. Інтервал часу T відповідає стадії, коли потік газу продуктів згоряння є високошвидкісним. При t>T швидкість розльоту хмари різко падає через незначну різницю між густиною хмари і фонової атмосфери, і настає повільна дифузійна стадія розльоту хмари, яка тут не розглядається. Наведені рівняння показують, що величини ρ_0, Rm повністю визначають динаміку розльоту вихлопної струмини РН на проміжку часу, що розглядається. Значення цих величин для типічних умов (M = 26 т і L = 240 км) наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Густина фонової атмосфери ρ_0 і характеристики газової хмари продуктів ДУ РН на різних висотах h інжекції цього газу

h, км	110	130	150	170	190
ρ_0, кг/м	$6{,}8\cdot10^{-8}$	$6{,}4\cdot10^{-9}$	$1{,}8\cdot10^{-9}$	$7{,}3\cdot10^{-10}$	$3{,}6\cdot10^{-10}$
R_m, км^3	1,3	4,1	7,8	12,2	17,3
T, с	0,5	1,7	3,3	5,1	7,2
t, с	0,5	1,7	3,3	5,1	7,1

Із даних табл. 8.1 видно, що R_m, T і t збільшуються з ростом h через зниження з висотою густини фонової атмосфери ρ_o.

Для типових умов роботи ДУ РБ, наприклад, типу ”11С 824Ф” апарат виводиться на витягнуту еліптичну орбіту в результаті двох включень в інтервалі висот 150 – 350 км: перше включення на протязі 80 с відбувається на висотах 152–155 км, витрачається 1,92 т палива, швидкість руху РБ вздовж траєкторії W змінюється від 7,2 до 7,5 км/с.

Швидкість струмини газу продуктів згоряння на зрізі сопла V_o = 3,1км/с. Оскільки W> V_o , то за зрізом сопла працюючої ДУ буде розташована обмежена область високошвидкісного потоку газу продуктів згоряння, в якій середнє значення густини газу $\rho \approx 2\rho_o$. Об’єм високошвидкісного потоку газу ДУ РБ обмежений конусом з вершиною на зрізі сопла і основою у вигляді круга з радіусом R на відстані L від вершини:

$$R = V_o\tau\ ,\ L = U\tau\ ,\ U = W - V_o \qquad (8.5)$$

$$\tau^2 = 3(dm/dt)/\{2\pi\rho_o U^3[1 + V_o/(U^2)^{1/2} - 1]\}, \qquad (8.6)$$

де dm/dt – витрата палива за одиницю часу. За межами цього об’єму розліт вихлопного газу близький до дифузійного. Інтервал часу Δt, за який область високошвидкісного потоку газу продуктів згоряння пересікає фіксовану точку на даній h вздовж траєкторії РБ, за даними (8.5) визначається співвідношенням:

$$\Delta t = L/w = U\tau/w \qquad (8.7)$$

На цій висоті в площині, перпендикулярній траєкторії РБ, зміни характеристик високошвидкісного потоку газу (густини, швидкості радіального розльоту і розміру хмари) багато в чому подібні наведеним вище для РН: спершу фіксується щільна хмара невеликого розміру (вершина конуса), яка радіально розширюється з часом (інші дільниці конуса аж до основи). Із (8.5) – (8.7) витікає, що характерні розміри хмари і час Δt залежать від висоти, наприклад, через зміну з висотою густини ρ_0 і швидкості W. Ці залежності наведені в табл. 8.2.

Із табл.8.1 і 8.2 видно, що поблизу 150 км інтервал часу, коли потік газу продуктів згоряння є високошвидкісним, для РН на порядок більше, ніж для РБ.

На цій висоті відносна швидкість U = 4,4 км/с для РБ і U = 0 для РН. Ця різниця в значеннях відносної швидкості і є основною причиною різниці в значенні Δt для РН і РБ.

Таблиця 8.2

Характеристики області високошвидкісного потоку вихлопного газу на фіксованих висотах включення ДУ РБ ”11С824Ф”.

h, км	ρ, кг/м^3	R, км	U, км/с	V_o, км/с	Δt, с
153	$3{,}2 \cdot 10^{-9}$	1,2	4,4	3,1	0,2
250	$1{,}5 \cdot 10^{-10}$	4,6	6,0	3,1	1,0
350	$1{,}5 \cdot 10^{-11}$	14	6,9	3,1	3,0

Переведення РБ з витягнутої еліптичної орбіти на геостаціонарну орбіту (ГСО), тобто кругову орбіту радіусом R_o = $6{,}62R_E$ з орбітальним періодом 24 години і швидкістю руху вздовж орбіти W_o = 3,072 км/с, здійснюється включенням ДУ РБ на висотах біля 6,6 R_E від центра Землі, де R_E – радіус Землі. Це переведення на ГСО відбувається за 750 с, на протязі яких в атмосферу викидається $1{,}2 \cdot 10^{29}$ молекулярних часток із середньою масою 22,8 а.о.м. і швидкість РБ змінюється від 1,6 до 3,072 км/с. Фонова нейтральна атмосфера в області ГСО майже беззіткнувальна, складається, в основному, із атомів водню, концентрація яких біля 50 см$^{-3}$. Характерний час між зіткненнями біля 50 діб. Тому на дільниці роботи ДУ в області ГСО передусім буде проходити розліт газу продуктів згоряння. Потім, коли розмір газової хмари перевищує довжину вільного пробігу атомів в фоновій атмосфері, частки газу продуктів згоряння почнуть рухатись у пустоту за балістичними траєкторіями. При цьому значна частина часток буде рухатись вздовж еліптичних траєкторій, не досягаючи екзобази, тобто вони будуть повертатись в область ГСО, формуючи в цій області газову хмару підвищеної концентрації. В процесі таких рухів газ дисоціює під дією сонячного випромінювання, що приводить, зокрема, до утворення із молекул H_2 і H_2O атомів H. Тому через деякий час газ продуктів згоряння буде складатись, в основному, із атомів водню. Якщо для оцінки виділити об’єм у вигляді тора радіусом R_o = $6{,}62R_E$ з поперечним перерізом у вигляді круга діаметром 500 км, то в цьому об’ємі середнє значення концентрації атомів водню, утворених із газу продуктів згоряння, буде близьким до фонового,

тобто сумарна концентрація цих атомів приблизно вдвоє більша від фонового значення. Характерний час існування такої хмари підвищеної концентрації атомів водню біля 2–3 діб. Слід відмітити, що ці оцінки дуже приблизні і показують лише принципову можливість підтримки середнього підвищеного рівня концентрації атомів водню в області ГСО.

На термосферних висотах високошвидкісний і щільний газ продуктів згоряння ДУ РН або РБ є джерелом генерації магнітогідродинамічних хвиль. Високошвидкісний потік газу продуктів згоряння через зіткнення тягне за собою іони. В результаті виникає електричне поле, струми Хола, які ортогональні геомагнітному полю. Ці струми повинні замикатись поздовжніми струмами, які в даному випадку забезпечуються магнітогідродинамічною хвилею. Тому в області взаємодії оточуючої іоносферної плазми з високошвидкісним потоком газу продуктів згоряння самоузгоджено виникають електричні струми і магнітогідродинамічні хвилі [52].

Наслідком взаємодії магнітогідродинамічної хвилі, що генерується газом продуктів згоряння ДУ РН або РБ, з навколишнім середовищем може бути стимульоване висипання електронів з енергіями 1–3 кеВ в іоносферу, модуляція висипання електронів з енергіями біля 40 – 50 кеВ. При певних геліофізичних умовах глибина такої модуляції для МГД-хвилі, що генерується продуктами згоряння ДУ РН, може досягати 40 %. Для МГД-хвилі, яка генерується газом продуктів згоряння ДУ РБ даний механізм суттєво менш ефективний – глибина модуляції не перевищує 2 %. Крім того, інжекція газу продуктів згоряння ДУ РБ в атмосферу в області ГСО може привести до зменшення часу життя протонів з енергіями порядку 100 кеВ в екваторіальній площині магнітосфери.

Концентрація теплових іонів тут низька, тому основним джерелом втрат високоенергійних протонів є резонансна перезарядка протонів з атомами водню. Характерний час перезарядки швидко збільшується зі збільшенням енергії протонів. Поява поясу атомів Н на ГСО в результаті роботи ДУ РБ приводить до росту швидкості втрат високоенергійних протонів (приблизно в

2 рази порівняно з швидкістю втрат для протонів з енергіями біля 50 кеВ).

8.2. Вплив плазмових ДУ КА

Плазмові двигунні установки звичайно використовуються для орієнтації, стабілізації і для корекції орбіти КА (розділ 2).

В результаті роботи плазмових ДУ в навколишньому космічному просторі (НКП) утворюється плазмова хмара з такими початковими характеристиками, коли швидкість витікання плазми на зрізі сопла практично не відрізняється від швидкості руху КА: поперечний розмір приблизно 3 м, поздовжній розмір визначається часом роботи плазмової ДУ, ефективна маса іонів $m(X^+)$ ~120 а. о. м., концентрація іонів $N(X^+) \approx 10^5$ см $^{-3}$ і дорівнює концентрації електронів хмари, температура іонів $T(X^+) \approx 1500$ К, температура електронів $T_e = 10^4$К. Тут враховано, що іонами плазмової хмари є іони ксенону, аргону або пари ртуті, середня маса яких ~120 а.о.м. (див. розділ 2).

Аналіз показує, що найбільш сильні зміни характеристик НКП, пов'язані з цією плазмовою хмарою, можуть відбуватись в області, де фонова концентрація електронів набагато менша від концентрації електронів хмари і, крім того, існує фоновий поздовжній струм I вздовж геомагнітного поля із іоносфери вверх в магнітосферу. Такі умови характерні для висоти h =3000-5000 км опівночі; фонова концентрація електронів майже співпадає з концентрацією теплових протонів, середнє значення $N(H^+) = 50$ см$^{-3}$,
$T_e \approx T(H^+) \approx 3000$ К, $I \approx 0{,}5$ А/км^2. Значення концентрації іонів N, іоннозвукової швидкості $V_s = [k(T_i + T_e)/m_i]$, теплової швидкості іонів $V = kT_i/m_i$, гірочастоти іонів $f = ω/2π$, де $ω = eB_o/m_i$ (B_o – модуль геомагнітного поля), гірорадіуса іонів $r = V/ω$ для фонової плазми ($i = H^+$) і для початкових характеристик плазмової хмари ($i = X^+$) в області НКП, що розглядається, наведені в табл. 8.3.

З часом відбувається розліт плазмової хмари вздовж і поперек геомагнітного поля.

Розліт плазмової хмари поперек геомагнітного поля буде відбуватись до тих пір, поки радіус плазмової хмари за порядком значення не стане близьким до гірорадіусу іонів. Час

цього процесу, який відраховується від початку часу інжекції плазми плазмовою ДУ на певну фіксовану висоту, t_1~ 1/ω(X^+)~ 0,1 с. Концентрація іонів хмари до цього часу N(X^+)~1000см $^{-3}$.

Таблиця 8.3

Характеристики фонової плазми (i =H^+) і плазмової хмари зразу після інжекції цієї хмари плазмовою ДУ (i=X^+) на висоті ~ 3200 км поза плазмосферою

i	N, см $^{-3}$	V_S, км /с	V, км /с	f, Гц	ω, c^{-1}	r, м
H^+	50	7	5	240	1500	3
X^+	10^5	0,8	0,3	2	12,5	26

При наявності поздовжнього струму I, спрямованого з іоносфери в магнітосферу, можливе подальше зменшення концентрації фонової плазми в цій області: початкове зменшення N_e призводить до появи слабкого поздовжнього поля, яке прискорює електрони вниз, а іони вверх, що еквівалентно більш значному зменшенню N_e, яке призводить до підсилення поздовжнього поля і ще більш сильного зменшення N_e аж до розвитку того чи іншого типу плазмової нестійкості. Поздовжній струм $I \approx e \cdot N_e \cdot V_e$ постійний для часу, що розглядається, оскільки генератором цього струму є магнітосфера. Тому тривале зменшення N_e призведе до росту дрейфової швидкості електронів V_e і ця швидкість може перевищити порогове значення для розвитку, зокрема, електростатичної іонно-циклотронної (ЕІЦ)-нестійкості. Ріст амплітуди ЕІЦ-хвиль може призвести до ЕІЦ-турбулентності. Область, охоплена ЕІЦ-турбулентністю, є турбулентним шаром, в якому різко збільшене поздовжнє електричне поле. Фонові надтеплові електрони, потрапляючи в цей шар, будуть прискорюватись вниз в іоносферу і тим самим набувати додаткової енергії ~1 кеВ. Різке збільшення потоку електронів, що висипаються в атмосферу, є джерелом магніто-гідродинамічної хвилі, яка, поширюючись вздовж геомагнітного поля, може досягти області, де можливе утворення турбулентного шару через перевищення порогового значення дрейфової швидкості електронів, пов’язаної з поздовжнім струмом цієї

хвилі. В результаті може виникнути саморегульований режим пульсуючих висипань електронів з енергіями ~ 1 кеВ.

8.3. Вплив ядерних енергетичних установок на навколоземний космічний простір

Оцінюючи вплив ЯЕУ на НКП, слід насамперед мати на увазі установки з ядерним реактором (ЯР), оскільки в радіоізотопному генераторі (РІГ) все випромінювання практично не виходить за межі зовнішньої оболонки.

Функціонування ЯР в НКП можна розділити на 2 стадії:

1) штатний режим вимкненого ЯР на робочій орбіті;
2) режим забезпечення радіаційної безпеки (відпрацювання ресурсу, завершення програми польоту, або його аварійне припинення, виключення ЯР, переведення низькоорбітальних КА на орбіту захоронення і пасивне існування на робочій орбіті високо орбітальних КА з ЯР).

В штатному режимі працюючий ЯР – джерело гамма-, нейтронного випромінювань та електронів (табл.8.4), які здатні впливати на радіаційну обстановку в НКП, суттєво змінити природний радіаційний фон.

Густина потоків змінюється в залежності від широти, збільшуючись (гамма-випромінювання, нейтрони) або зменшуючись (електрони) до полюсів. Густина потоку нейтронів має в НКП такі значення: на екваторі - 0,07-0,4 нейтр./(см^2·с), в середніх і високих широтах – 0,17-1,2 нейтр./(см^2·с). Середнє значення інтегральної густини потоку γ-квантів на екваторі складає біля 0,02-0,2 квант./(см^2·с), в середніх і високих широтах –
0,2-0,6 квант./(см^2·с). Основним джерелом електронів в НКП є радіаційний пояс Землі – область захоплення геомагнітним полем заряджених часток (протонів та електронів). Пояс поширюється від декількох сотень до декількох десятків тисяч кілометрів від поверхні Землі. Максимальні значення густини потоків електронів знаходяться на висоті біля 3000 км – 10^7 ел./(см^2·с) і біля 22000 км – 10^6-10^7 ел./(см^2·с).

При роботі ЯР його активна зона є джерелом нейтронів і γ-випромінювання, які виходять в навколишнє середовище. Інші

види випромінювань, які утворюються в активній зоні, за її межі не виходять, повністю поглинаючись конструкційними матеріалами.

Таблиця 8.4

Густини потоків складових природної радіаційної обстановки в НКП

Висота орбіти, км	Густини потоків част./(см^2·с)		
	гамма-кванти	нейтрони	електрони
100-300	0,2-0,6	0,1-1,2	10^2-10^3
300-500	0,2-0,6	0,1-1,2	10^2-10^4
500-700	0,1-0,6	0,1-0,8	10^3-10^4
700-1000	0,1-0,6	0,08-0,6	10^3-10^5
1000-3000	0,1-0,25	0,04-0,4	10^3-10^7
3000-10000	0,06-0,2	0,03-0,3	10^3-10^7
10000-20000	0,04-0,12	0,02-0,2	10^3-10^6
20000-30000	0,02-0,05	0,01-0,05	10^3-10^6
30000-40000	0,01- 0,1	0,01-0,1	10^2-10^5

Як нейтрони, так і γ-випромінювання працюючого реактора генеруються різноманітними джерелами, однак з точки зору радіаційної безпеки основними є миттєві нейтрони, які утворюються в ході ланцюгової реакції, і миттєві гамма-випромінювання, супроводжуючі процес ділення, та випромінювання короткоживучих продуктів ділення, більшість яких випускається в перші декілька секунд після ділення.

Кількість нейтронів і гамма-квантів, які утворюються в активній зоні, залежать від теплової потужності ЯР. Для одиничної теплової потужності 1 кВт число ділень складає $3{,}1\cdot10^{13}$ діл./с, для потужності $P_т$ пропорційно зростає: $3{,}1\cdot10^{13}$ $P_т$.

Середня кількість миттєвих нейтронів при діленні U^{235} складає 2,5 нейтр./діл, отже, в активній зоні при тепловій потужності
$P_т$, кВт, утворюється у середньому $7{,}7\cdot10^{13}$ $P_т$ нейтронів за секунду. Частина цих нейтронів приймає участь в розвитку ланцюгової реакції ділення, а частина виходить за межі активної зони (витік нейтронів), формуючи в НПС нейтронне поле.

Миттєве гамма-випромінювання і гамма-випромінювання короткоживучих продуктів ділення утворюються приблизно в однакових кількостях і мають однаковий енергетичний розподіл.

При діленні одного ядра U^{235} миттєво виходить біля 10,3 γ-квантів різної енергії. Якщо знехтувати низькоенергетичною областю спектра ($E_\gamma \leq$ 0,5 МеВ), випромінювання якого практично повністю поглинається в активній зоні, то сумарний вихід γ-квантів буде складати $3{,}1\cdot10^{13}$ $P_т$, γ-квантів/с, або сумарна енергія біля $37{,}2\cdot10^{13}$ $P_т$, МеВ/с.

Вихід гамма-нейтронного випромінювання за межі активної зони, крім теплової потужності ЯР, залежить також від її конструктивних особливостей. Для проведення розрахунків активну зону циліндричної форми перетворюють в еквівалентний циліндричний випромінювач з радіусом R_e= $0{,}572(H_{а.з}\cdot D^2_{а.з.})$, де $H_{а.з.}$,$D_{а.з.}$ – відповідно висота і діаметр активної зони. Це дозволяє визначити густину потоку випромінювання на її поверхні, а просторовий розподіл поля випромінювання за межами активної зони розраховується як від точкового ізотропічного джерела з виходом нейтронів і квантів, який дорівнює густині потоків на її поверхні.

В залежності від потужності ЯР і його типу (тепловий, швидкий) густина потоку нейтронів на поверхні активної зони може складати 10^{12}-10^{14} нейтр./(см^2·с), а для γ-квантів – 10^{12}-10^{15}кв./(см^2·с). Так, для ЯР типу “Топаз” густина потоку нейтронів -біля 10^{12} нейтр./(см^2·с), гамма-квантів - 10^{13} кв./(см^2·с). Густина потоків випромінювань, які утворюються в НКП працюючими ЯР, в залежності від його потужності, наведені в табл. 8.5.

Таблиця 8.5

Густина потоків гамма-нейтронного випромінювання
в залежності від віддалення до працюючого ЯР і його потужності

R, км	1	10	100	200	500	1000
γ,кв./(см^2·с), 180кВт	~10^5	~10^3	~10	2,5	0,4	0,1
1000кВт	$5{,}5\cdot10^5$	$5{,}5\cdot10^5$	55	14	2,2	0,55
N нейтр./(м^2·с),180кВт	~34	~0,34	$3\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-5}$
1000 кВт	~190	~2	$1{,}6\cdot10^{-3}$	$5{,}5\cdot10^{-3}$	$5{,}5\cdot10^{-4}$	$1{,}6\cdot10^{-4}$

Як свідчать дані табл.8.5, працюючий ЯР може суттєво змінити природну фонову обстановку щодо нейтронів та γ-квантів в локальній області НКП. Цей вплив тим сильніший, чим більша висота орбіти. На низьких орбітах (H=200-300км) ЯР створює густину потоку γ-квантів, порівняну з фоном в верхній півсфері до висот 700-1000 км на низьких широтах і на відстанях до R=500 км в високих широтах (H=700-800 км). ЯР на висотах 800-1000 км створює подібне поле на відстанях до 300-500 км в нижню півсферу і до 1000-3000 км в верхню. Для ГСО зона перевищення фону поширюється вниз на відстані 2000-3000 км.

Нейтронні потоки від працюючого ЯР стають порівняними з фоном на відстанях 100-300 км.

Області збурення мають вигляд деформованих півсфер, центром яких є ЯР, а радіуси дорівнюють відстаням збурення в верхню і нижню півсфери відносно ЯР. Сектор деформації півсфер складає біля 10-15° для кожної з них; його виникнення пояснюється інтенсивним поглинанням випромінювання тіньовим захистом, холодильником-випромінювачем і корисним навантаженням (сумарний коефіцієнт послаблення 10^3-10^4). Півсфери переміщуються в просторі із швидкістю руху КА на орбіті, їх центр в часі і просторі має характеристики орбіти, тобто геометричні параметри областей збурення в просторі жорстко пов'язані з орбітальним польотом КА з ЯР. Виникаючі поля в часі стаціонарні, тобто залишаються постійними за весь період роботи ЯР. Після його зупинки поля, що створюються розглянутими джерелами, зникають. Кутовий розподіл випромінювань ізотропний, а спектр жорсткіший, ніж у γ-квантів природного походження.

Випромінювання працюючого ЯР можуть зашкодити дослідженням в області γ-астрономії (нейтронні зірки, квазари та інші об'єкти), однак побоювання того, що γ-випромінювання може пошкодити електронні схеми пролітаючих поблизу КА, безпідставні. Допустима поглинута доза (за Si) для найбільш чутливих елементів радіоелектронної апаратури – інтегральних мікросхем складає біля 10^6 рад, що відповідає потоку квантів біля 10^{15} кв./ $см^2$.

Щоб набрати таку дозу, необхідно знаходитись біля працюючого ЯР на відстані не більше 10 км (табл. 8.5.) на протязі декількох сотень років. На відстані понад 1 км дозне поле, яке створюється працюючими ЯР, стає практично непомітним на фоні поля від природних космічних джерел.

Власне електронне випромінювання ЯР, яке з'являється при радіоактивному розпаді напрацьованих уламків ділення, не виходить за межі його активної зони. Однак взаємодія миттєвих γ-квантів з тонкими зовнішніми шарами оболонки ЯР при їх виході із активної зони приводить до генерації вторинних електронів, які виходять в НКП. Ці електрони (а також позитрони процесу утворення пар) захоплюються геомагнітним полем, здійснюють коливальні рухи вздовж магнітної силової лінії і широтний дрейф, утворюючи (особливо на низьких висотах) штучний радіаційний пояс. Розрахункові та експериментальні дані показують, що вплив цих явищ на геомагнітні умови в НКП незначний.

Після завершення програми польоту ЯР вимикається, і ЯЕУ переводиться на радіаційно безпечну орбіту (РБО). До таких відносяться кругові орбіти з висотою від 700 км і більше, час балістичного існування на яких значно більший, ніж час спаду активності уламків ділення до безпечного рівня. Мінімально необхідний час існування ЯР на РБО в залежності від теплової потужності і тривалості роботи $\tau = 43{,}3(2{,}56 + \ln P_T \cdot T)$ років. Із збільшенням маси об'єкту час зростає. Чим вища орбіта, тим цей час також більший. Так, при висоті орбіти 300 км цей час буде перевищувати 1000 років, при цьому ЯР стає повністю безпечним при поверненні в атмосферу. Захоронення ЯР, що відпрацювали, в "орбітальних сховищах" створює додатково 2 проблеми:

1) вплив випромінювань вимкненого ЯР на НКП;
2) поява на орбітах радіоактивного космічного сміття.

Після зупинки ЯР основну роль в формуванні поля випромінювань в НКП будуть грати γ-кванти продуктів ділення. Активація миттєвими нейтронами конструкційних матеріалів ЯЕУ призводить до виникнення наведеної радіоактивності в конструкції установки. Рештою джерел в першому наближенні можна знехтувати.

Захоронення ЯЕУ на високих орбітах призводить до накопичення космічного сміття. Саме по собі його існування там не повинно викликати особливих побоювань. Однак зіткнення з фрагментами космічного сміття може призвести до руйнування крупних об'єктів, зміни їх балістичних характеристик, різкого скорочення часу перебування на орбіті і в результаті до неконтрольованого входу в атмосферу.

На цей час на навколоземних орбітах в діапазоні h ~ 700 - 1500 км знаходяться біля 60 об'єктів з радіоактивними матеріалами. До них відносяться: КА з радіоізотопними генераторами (КА+РІГ); КА з реакторними ЯЕУ (КА+ЯЕУ);

реакторні ЯЕУ з відсіком відведення (ЯЕУ+ВВ); зборки твелів, викинуті з корпусу ЯР (табл.8.6.).

До складу цих об’єктів входить біля 1т радіоактивних речовин (U^{235}; Pu^{238}, уламки ділення), які використовуються в енергетичних установках, а також активізовані конструкційні елементи. Порівняльні дані за значеннями активності об’єктів наведені в табл.8.7.(теплова потужність ЯР – 50 кВт).

Як свідчать дані, основний вклад в активність вносять продукти ділення в твелах. Однак, якщо мова йде про неконтрольований вхід в атмосферу, слід враховувати решту джерел. Крім вказаних в табл.8.7, деякий вклад дає теплоносій (калій, натрій) – 60-100 Кі в момент зупинки. Однак періоди напіврозпаду Na і K невеликі (відповідно 14 і 12,5 годин).

Таким чином, якщо розглядати 1 об’єкт, то його фрагментація, незважаючи на можливість різкого скорочення часу існування, не призводить до росту радіаційної небезпеки для населення Землі. Однак, збільшення числа КА з ЯЕУ на навколоземних орбітах, ріст їх потужності разом з зростанням загальної маси космічного сміття можуть призвести до значно більшого числа зіткнень і в результаті до підвищення радіаційної небезпеки.

Таблиця 8.6

Основні характеристики космічних об’єктів з радіоактивними матеріалами

Об’єкт	Кількість	Діаметр, м	Довжина, м	Маса,
КА+РІГ	10	0,5-1,11	0,3-1,5	70-3
КА+ЯЕУ	3	1,3	10,0	380
ЯЕУ+ВВ	13	1,3	5,8	125
ЯЕУ+ВВ без зборки	16	1,3	5,8	120
Зборка твелів	16	0,2	0,6	53

Таблиця 8.7

Зміна радіоактивності (Кі) об’єктів з часом

Об’єкт	**Час, с**								
	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8
дукти ділення в твелах	$2\cdot10^5$	$1,5\cdot10^5$	$1,5\cdot10^5$	$1,5\cdot10^5$	10^5	$7\cdot10^4$	$2\cdot10^4$	$7\cdot10^3$	10^3
еріали активної зони	$2\cdot10^3$	$1,8\cdot10^3$	$1,5\cdot10^3$	$1,5\cdot10^3$	$1,2\cdot10^3$	10^3	$7\cdot10^2$	$5\cdot10^2$	$2\cdot10^2$
бражувач з берилію	20	20	10	10	7	0,2	0,2	0,1	0,08
ст з гідриту літію	8	$2\cdot10^5$	$1,5\cdot10^{-2}$	$1,5\cdot10^{-2}$	$1,2\cdot10^{-2}$	10^{-2}	10^{-2}	$8\cdot10^{-3}$	$7\cdot10^{-3}$

9. ПРОБЛЕМА КОСМІЧНОГО СМІТТЯ В НАВКОЛОЗЕМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

9.1. Негативні наслідки освоєння НКП і контроль забрудненості

Область функціонування РКТ складає ~10^{12} – 10^{13} км^3. Однак, в останні роки виявилось, що і тут активна людська діяльність має надзвичайно чутливі негативні наслідки.

З моменту запуску першого радянського супутника 4.10.1957 р. до цього часу засобами контролю космічного простору США і Росії було зареєстровано та каталогізовано понад 25000 космічних об'єктів штучного походження розміром понад 10-30 см. Приблизно 17000 з них знизились під дією атмосфери настільки, що досягли щільних шарів верхньої атмосфери, зруйнувались і згоріли. Решта, кількість яких біля 9000, продовжують залишатись у космосі. З них біля половини російські.

Характерною особливістю всієї діяльності з освоєння космічного простору є неухильне його засмічення об'єктами штучного походження. Число запусків супутників складало приблизно 100 на рік. На протязі останніх 20 років маса об'єктів, які щорічно виводяться на орбіти, складає приблизно 160 тон. В результаті запуску нових космічних об'єктів, виконання різного роду технологічних операцій на функціонуючих апаратах, внаслідок вибухів та аварій щорічно утворюється 600-700 об'єктів розміром понад 10-30 см.

В 1981 році організація NASA підготувала перший офіційний звіт з проблем "космічного сміття", а в 1988 р. Європейське космічне агентство (ESA) також підготувало оглядовий звіт з проблем "космічного сміття". В 1989 р. міжвідомча група, до складу якої ввійшли представники NASA, Міністерства оборони, Міністерства транспорту, Міністерства закордонних справ, а також незалежні експерти науково-дослідних організацій і фірм США підготували звіт для Ради Національної безпеки, який містить аналіз стану забруднення НКП в результаті діяльності людини, а також рекомендації міністерствам щодо проведення узгодженої програми науково-дослідних робіт, задачею яких є підвищення можливостей виявлення і стеження за об'єктами штучного походження, моделювання рівня забруднення на навколоземних

орбітах, координація зусиль для збору даних, розробка “Загальних технологій з метою зниження ступеня забруднення і підвищення живучості КА”. Підготовлена сумісна програма реалізації цих рекомендацій.

В 1993 і 1997 роках ESA організувало конференції з “космічного сміття”, на яких були широко представлені результати досліджень експертів з різних країн. Проведено дві спеціалізовані конференції з тематики “космічне сміття” і в Росії – в 1992 і 1995 роках.

Серед можливих негативних наслідків освоєння НКП виявлена небезпека зіткнення КА з техногенними частками, що знаходяться в космосі. Діапазон їх розмірів виявився дуже широким – від декількох мікрон до декількох метрів, причому кількість дрібних часток перевищила кілька мільйонів. Широкий спектр мають і наслідки зіткнення КА з цими частками – від повільної ерозії поверхні (оптичних приладів, датчиків, панелей сонячних батарей) до вибухів і повного руйнування. Достовірно встановлено, що основну небезпеку складають дрібні частки, число яких різко зростає в міру зменшення розмірів.

Хоча останнім часом з’явились результати досліджень можливого передбачення зближень КА з крупними каталогізованими об’єктами [53], існуюча точність ведення каталогів космічних об’єктів не дозволяє надійно передбачувати їх зіткнення з КА.

Другим надзвичайно негативним наслідком наростаючого забруднення навколоземного простору є можливість регулярного зіткнення об’єктів один з одним, що викличе лавиноподібний процес забруднення і унеможливить взагалі подальшу космічну діяльність. Орієнтована сучасна оцінка зіткнень каталогізованих космічних об’єктів дорівнює 1 за декілька десятків років, за оцінками деяких спеціалістів ще через 50 років число зіткнень збільшиться в 10-20 разів. 24 липня 1996 року вперше зафіксовано зіткнення двох об’єктів – французького супутника “Cerise” з фрагментом руйнування третього ступеня ракети “Ariane V16”.

Інших негативних наслідків людської діяльності в космосі поки що достовірно не встановлено, однак, не виключається, що вони будуть виявлені. Це відноситься, зокрема, до можливого впливу речовини згоряючих супутників на фізико-хімічні процеси

в верхній атмосфері, які, можливо, будуть впливати на атмосферні явища і погоду в нижній атмосфері.

Найбільш повні і достовірні оцінки ступеня забруднення НКП небезпечними об'єктами отримані системами контролю космічного простору (СККП) Росії і США. Еволюція числа каталогізованих об'єків свідчить, що за період з 1961 р. до 2001 р. загальна кількість космічних об'єктів склала понад 9000 штук.

На початковому етапі освоєння космічного простору серед більш дрібних (некаталогізованих) космічних об'єктів основну роль відігравали об'єкти природного походження – мікрометеорити. У нинішніх умовах відношення потоку штучних об'єктів до природних залежить від розмірів об'єктів. Рівність потоків знаходиться поблизу 1 мм. Для менших розмірів переважає потік метеоритів, для більших – потік штучних космічних об'єктів для розмірів в 1 см відношення складає приблизно 40, для 10 см ~ 10000.

Для оцінки ступеня достатності даних про дрібні фрагменти важливо сформувати реалістичний критерій достатності. Велика кількість дрібних небезпечних фрагментів і досвід каталогізації крупних космічних об'єктів свідчить про те, що в найближчі 10-20 років розраховувати на каталогізацію фрагментів розміром менше 5-10 см не доводиться.

Очевидно, в цих умовах найбільш актуальним є побудова достовірної статистичної моделі небезпечних дрібних фрагментів «космічного сміття».

Процес забруднення НКП дрібними фрагментами найменше вивчений.

Кількісний опис ступеня забруднення такими фрагментами порівняно з каталогізованими суттєво ускладнений. Це пов'язано, по-перше, з обмеженими можливостями засобів вимірювань (мале відношення: сигнал/шум). У зв'язку з цим перспективним є створення вимірювальних систем космічного базування, які проте самі не повинні суттєво засмічувати НКП. По-друге, з великою кількістю дрібних фрагментів. Тому можливість індивідуальної каталогізації, по аналогії з крупними космічними об'єктами, є надто проблематичною і в найближчі десятиріччя не може бути реалізована. Для фрагментів такого типу цілком реалістичним і достатньо ефективним напрямком робіт є створення статистичних

моделей засміченості, які повинні максимально використовувати всю наявну інформацію.

На Заході для оцінки концентрації космічних об'єктів і розрахунку вірогідності їх зіткнення застосовується чисельний підхід, оснований на поштучному аналізі каталогізованих космічних об'єктів. Задача вирішується з використанням простих алгоритмів і потужної обчислювальної техніки. В Росії на основі розвитку статистичної механіки ансамблю супутників створені методи розв'язування комплексу задач аналізу і прогнозу обстановки в НКП, які будучи реалізованими в вигляді моделі на звичайному персональному комп'ютері, вирішують широке коло задач за 5-10 хвилин.

Спеціалісти, стурбовані наслідками людської діяльності в космосі, шукають шляхи попередження критичного рівня забруднення. Основними є наступні напрями:

1) зменшення кількості техногенних об'єктів, які утворюються при запуску та експлуатації КА;
2) підвищення надійності і, отже, збільшення часу активного існування КА, зниження вірогідності руйнування КА;
3) повне виключення навмисних вибухів КА;
4) розробка способів очистки НКП від функціонуючих КА та уламків;
5) вдосконалення засобів контролю за забрудненням космосу;
6) вдосконалення методів оцінки наслідків забруднення в напрямі підвищення достовірності результатів аналізу і прогнозу обстановки в космосі;
7) розробка способів захисту КА від техногенних часток.

Дуже своєчасним є введення обмежень на запуски КА на висоти понад 800-1000 км, а також прийняття штрафних санкцій по відношенню до тих країн, які будуть порушувати введені обмеження, зокрема, будуть допускати аварії і вибухи своїх КА.

Одним із напрямків робіт, що сприяють подоланню труднощів контролю дрібних фрагментів, є об'єднання зусиль різних країн щодо їх вимірювання і створення міжнародного банку даних. З цією метою спеціалісти з проблем техногенного забруднення НКП космічних агентств різних країн заснували Спеціальний Комітет (Inter-Agensy Spase Debris Commitee), який щорічно організує зустрічі спеціалістів і обговорення актуальних питань.

При комітеті створені 4 робочі групи з таких питань: вимірювання “космічного сміття”; моделювання; захист КА; заходи щодо послаблення техногенного забруднення.

9.2. Просторовий розподіл штучних об’єктів в області низьких орбіт

В більшості робіт з проблем засміченості НКП використовується традиційний підхід – детермінізований, оснований на розв’язуванні диференційних рівнянь руху. Такий підхід надзвичайно трудоємкий і може бути реалізованим лише на потужних ЕОМ, крім того, він не вирішує проблеми забезпечення адекватної моделі.

Очевидно, що при відсутності детальних відомостей про елементи орбіт дрібних об’єктів вивчення небезпеки зіткнень КА з ними вимагає застосування статистичного підходу.

За наявними в даний час даними основною причиною утворення дрібних некаталогізованих об’єктів є аварії (руйнування, вибухи) космічних об’єктів на орбіті. Характерна риса цього підходу до опису джерела забруднення в тому, що замість даних про конкретні запуски і випадки руйнування використовуються наступні основні усереднені дані:

1) середнє число об’єктів різних розмірів, які утворюються щорічно, $n\ (d > d_j)$;

2) співвідношення між числом дрібних об’єктів, що утворюються щорічно, і відповідним числом каталогізованих космічних об’єктів $n\ (d > d_j) = K(d_j)\ n\ (d_{cat})$;

3) коефіцієнт технічної політики К, який характеризує відношення числа каталогізованих космічних об’єктів, що утворюються щорічно, в майбутні часи, до відповідної оцінки на попередньому інтервалі;

4) висотний розподіл об’єктів $dp(h_p,d)$, які утворюються щорічно, розміром більше d (тут h_p – висота перигею), а також статистичний розподіл їх ексцентриситетів p(e, d) і нахилень p(i, d).

Завдання розподілу 3-х елементів орбіт (h_p, e, i) цілком достатньо для статистичного опису обстановки, оскільки решта інших трьох елементів (довгота висхідного вузла Ω, ω – аргумент

перигею і середня аномалія в початковий момент M_o) з достатньою точністю розподілені рівномірно на інтервалі 0-2π.

Залежності вихідних розподілів від розмірів об'єкту будуються на основі припущення, що всі дрібні фрагменти утворились в результаті фрагментації крупних (каталогізованих) об'єктів. При цьому використовуються реальні дані статистичного розподілу щорічного приросту $dp(h_p, d_{cat})$, $p(e, d_{cat})$, $p(i, d_{cat})$ каталогізованих об'єктів, а також апріорні дані про залежність швидкості розльоту фрагментів від їх розмірів. Чим менший розмір частки, тим більший приріст швидкості вона отримує в момент утворення. Таким чином здійснюється коригування вихідних розподілів каталогізованих об'єктів з урахуванням фрагментації.

В ряді робіт використовується припущення, що всі орбіти є близькими до кругових, однак більше половини мають ексцентриситет понад 0,01, а вплив об'єктів з конкретного діапазону, де розташований перигей їх орбіти, виходить з діапазону і поширюється на більш широкі шари, наприклад, на h=850 км концентрація об'єктів з висотами перигею до 800 км складає 35% від їх концентрації в діапазоні висот 700-800 км. Причиною цього ефекту є значна частка некругових орбіт, тобто припущення про кругові форми всіх орбіт приводить до суттєвих похибок в результатах.

Характерними особливостями побудови висотно – широтного розподілу концентрації космічних об'єктів є розгляд не пари об'єктів, а всієї сукупності; розв'язування задачі побудови сумарної концентрації на основі гістограм розподілів $p(h_p)$,$p(e)$ і $p(i)$.

Концентрація космічних об'єктів в одиниці об'єму ρ(h,φ), де h – висота точки над поверхнею Землі, φ - географічна широта, визначається за допомогою виразу

$$\rho(h,\varphi) = \frac{F(\varphi)}{2\pi^2(h+R^2)\Delta h}\iint_{h_p e}\Delta\tau(h_p,e)\phi(h_p,e,h)p(h_p)p(e)dh_p de \quad (9.1)$$

де R – радіус Землі.

$$\phi(h_p,e,h) = \frac{(1-e^2)}{\sqrt{1-e^2}}\left(\frac{h+R}{h_p+R}\right)^2 \quad (9.2)$$

$$F(\varphi)=\int\frac{p(i)di}{\sqrt{sin^2 i-sin^2 \varphi}}\text{, при } \sin i\geq\sin\varphi \qquad (9.3)$$

$\Delta\tau(h_p,e)$ – нормований (в долях періоду) інтервал часу, на протязі якого космічний об′єкт з елементами орбіти h_p знаходиться в висотному діапазоні $(h,h+\Delta h)$.

Просторовий розподіл концентрації характеризується функцією $\rho(h,\varphi)_J$ для різних діапазонів j розмірів космічних об'єктів (табл. 9.1.)

Таблиця 9.1

Діапазони розмірів космічних об'єктів

Найменування показника	Значення для діапазонів розмірів j							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Середні розміри, см	0,1-0,25	>0,25-0,5	>0,5-1,0	>1,0-2,0	>2,0-4,0	>4,0-8,0	>8,0-20	>20
Середня маса, кг	$18{,}6\cdot10^{-6}$	$5{,}8\cdot10^{-5}$	$2{,}8\cdot10^{-4}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$	0,01	0,064	0,363	300

Значення $\rho(h,\varphi)_J$ подаються у вигляді добутку:

$$\rho(h,\varphi)_J = \rho(h,\varphi)_{J\ H}\cdot\rho_{J\ max}, \qquad (9.4.)$$

де $\rho_{j\ max}$ – максимальне значення концентрації техногенної речовини для *j*-того діапазону її розмірів, $\rho(h,\varphi)_{jH}$ – відповідне значення концентрації.

Максимальні значення концентрації космічних об'єктів різних розмірів наведені в табл. 9.2.

Таблиця 9.2

Максимальні значення концентрації космічних об'єктів в 1999 р., км$^{-3}$

Найменування показника	Значення концентрації для інтервалів розмірів							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\rho_{j\,max}$	$2{,}49\cdot10^{-4}$	$2{,}59\cdot10^{-5}$	$6{,}95\cdot10^{-6}$	$9{,}64\cdot10^{-7}$	$4{,}12\cdot10^{-7}$	$1{,}72\cdot10^{-7}$	$9{,}39\cdot10^{-8}$	$5{,}09\cdot10^{-8}$

Середнє значення концентрації техногенної речовини різних розмірів на заданій висоті *h* визначається за допомогою виразу:

$$\overline{\rho}(h)_j = \sum_k \rho(h,\varphi_k)_j \cdot \cos(\varphi_k) \Big/ \sum_k \cos(\varphi_k) \qquad (9.5)$$

Такий же підхід, що й для визначення залежності концентрації від висоти і широти точки використовується і для побудови розподілу значення тангенціальної і радіальної компонентів швидкості, а також напрямків (азимуту *A*) можливих проходів космічних об'єктів поблизу даної точки з координатами *r*, φ, λ. Приймається, що відстань δb від точки до площини орбіти задовольняє умову:

$$|\delta b| \le \delta r / 2 \qquad (9.6)$$

Виконання цієї умови залежить від двох елементів: нахилення *i* та довготи вихідного вузла Ω, яка відлічується за годинниковою стрілкою від довготи заданої точки. Задача полягає в тому, щоб для множини траєкторій $i = f(\varphi,\Omega)$ знайти такі δr і $\delta\Omega$ ("трубку" траєкторій), щоб виконувалась умова (9.6). В результаті побудови такої "трубки "траєкторій встановлено число об'єктів, що пролітають через переріз площею $\delta F = \delta r \cdot \delta b$ за час одного періоду. Рішення зводиться до розв'язку інтеграла (9.7). При цьому враховується функціональний зв'язок $i = f(\varphi,\Omega)$ між нахиленням і довготою вузла.

$$\delta n(\delta F, h) = \frac{\delta F}{r} \cdot \frac{P(h)}{\sin\varphi} \int_0^{2\pi} P(\Omega) \cdot P(i) \cdot \sin i \cdot d\Omega \qquad (9.7)$$

Підінтегральний вираз в (9.7) при фіксованому $\Delta\Omega$ характеризує число об'єктів (долю від δn), які попадають в область δF точки, що розглядається. Всі ці об'єкти проходять через азимутальний сектор $(A, A + \Delta A)$,

де $$\Delta A = \frac{dA}{d\Omega} \cdot \Delta\Omega . \qquad (9.8)$$

Похідна визначається на основі співвідношення $i = f(\varphi,\Omega)$. В результаті розподіл *P(A)* приймає вигляд:

$$P(A) = k\frac{\sin i}{\sin\varphi}\cdot\frac{d\Omega}{dA}\cdot P(\Omega)\cdot P(i), \qquad (9.9)$$

де замість постійних параметрів введений нормуючий коефіцієнт *k*.

Слід відмітити, що для отримання достатньо стійких розподілів *P(A)* число реалізацій повинно складати не менше 1000 (тобто збіжність рішення (9.9) має місце при вказаній кількості реалізацій).

9.3 Техногенне забруднення області геостаціонарних орбіт

В районі 10-20 тис. км найбільша кількість запусків КА здійснювалась в області геостаціонарних орбіт (ГСО). Ця область характерна тим, що в ній супутники на кругових орбітах з висотою 35786 км мають таку ж кутову швидкість обертання, як і в Землі. При нульовому нахиленні вони постійно “висять” над однією і тією ж точкою поверхні Землі в районі екватору. Точна кількість об’єктів, які знаходяться на ГСО або поблизу неї, на цей час невідома. Достатньо точна інформація є тільки про космічні апарати і верхні ступені РН. В 1999 р в цій області знаходилось приблизно 600 КА і біля 200 РН.

Основним джерелом інформації про космічні об’єкти в області ГСО є оптичні вимірювання. У зв’язку з великими віддаленнями контролю піддаються лише космічні об’єкти великих розмірів – понад 0,5-1,0 м. Більш дрібні об’єкти некаталогізовані. Кутові швидкості руху об’єктів, що спостерігаються, свідчать, що багато з них утворилось в результаті вибухів.

Для побудови характеристик потоку часток “космічного сміття” в області ГСО застосовано той же підхід, що і в області низьких орбіт. Основні припущення методики визначення характеристик “космічного сміття”:

1) всі дрібні частки “космічного сміття”, які складають небезпеку для КА в області ГСО, утворились в результаті вибухів апаратів на кругових ГСО;

2) залежність числа часток, що утворились, від їх розмірів така ж, як і для низьких орбіт, зокрема, відношення числа часток з розміром >d до числа каталогізованих космічних об’єктів (розміром > 20 см) розраховується за формулою:

$$k(d)=k(d>1\text{см})/d^{x} \qquad (9.10)$$

Параметр x приймає для часток, менших 1 см, значення 2,55; для часток, більших 1 см – 1,52. Для оцінки k (d=1 см) прийнято значення 54;

3) залежність максимальної швидкості розльоту часток при вибуху від маси часток m приймається

$$V_{max} = 0{,}65 \cdot m^{-0{,}159}.$$

Тут m – в кг, V_{max} - в км/с.

4) швидкості розльоту часток, які реалізуються при вибуху, є випадковими. Закон розподілу значень швидкості розльоту V подається у вигляді β- розподілу:

$$f(V/V_{max}) = 5(1-V/V_{max})^4 \qquad (9.12)$$

Всі можливі напрями розльоту є однаково ймовірними;

5) співвідношення між розмірами часток і їх масою приймається у відповідності з даними табл. 9.1;

6) число об'єктів N(d > 20 см) в області ГСО прийнято таким, що дорівнює 1000.

На основі прийнятих припущень визначені наступні характеристики техногенного забруднення в області ГСО:

1) концентрація часток різного розміру;

2) питомий потік часток (число часток через одиничний переріз за одиницю часу);

3) статистичний розподіл напрямків підльоту часток відносно вектора швидкості;

4) залежність середньої швидкості можливих зіткнень від розміру часток.

Дані про концентрацію часток космічного сміття різних розмірів наведені в табл.9.3.

Таблиця 9.3

Значення концентрації (км$^{-3}$) часток різних розмірів

N діапазону j	1	2	3	4	5	6
Інтервал розмірів, см	0,5–1,0	>1,0–2,0	>2–4,0	>4,0–8,0	>8,0–20,0	>20
Максимальна концентрація	$7{,}2\ 10^{-7}$	$2\ 10^{-7}$	$6{,}4\ 10^{-8}$	$2\ 10^{-8}$	$6{,}5\ 10^{-9}$	$1{,}9\ 10^{-9}$

Дані про питомий потік (м$^{-2}$. год$^{-1}$) часток різних розмірів в області ГСО наведені в табл. 9.4.

Таблиця 9.4

Значення питомого потоку часток різних розмірів

№ діапазону j	1	2	3	4	5	6
Інтервал розмірів, см	0,5–1,0	>1,0–2,0	>2,0–4,0	>4,0–8,0	>8,0–20	>20
Питомий потік $м^{-2}.год^{-1}$	$1,1.10^{-6}$	$1,4.10^{-7}$	$4,9.10^{-8}$	$1,9.10^{-8}$	$8,3.10^{-9}$	$3,3.10^{-9}$

Як свідчать результати досліджень, в області ГСО напрямки швидкості можливих зіткнень мало відхиляються в напрямку вектора швидкості КА. В більшості випадків ці відхилення не перевищують ±5°. Інша важлива особливість можливих напрямків підльоту часток полягає в значній долі можливих ударів по тильній стороні КА (протилежній напрямку вектора швидкості). Ця доля тим більша, чим більші розміри часток "космічного сміття". Для об'єктів розміром понад 20 см "лобові" і "тильні" зіткнення стають приблизно однаково вірогідними.

Основна причина виникнення відмічених особливостей в тому, що всі космічні об'єкти в області ГСО мають малі нахилення і рухаються в одну сторону – з заходу на схід. Тому в більшості випадків спостерігається один із двох типів зіткнень: або КА наздоганяє частку "космічного сміття" або навпаки. У всіх цих ситуаціях значення швидкості відносно невелике в порівнянні із швидкостями зіткнень на низьких орбітах. Вірогідністю ударів у напрямку нормалі до площини орбіти можна знехтувати. Оцінки значення швидкості можливих зіткнень наведені в табл. 9.5.

Таблиця 9.5

Значення відносної швидкості зіткнень км/с часток різних розмірів

№ діапазону j	1	2	3	4	5	6
Інтервал розмірів, см	0,5–1,0	>1,0–2,0	>2,0–4,0	>4,0–8,0	>8,0–20	>20
Відносна швидкість	0,218	0,180	0,103	0,078	0,059	0,045

Як свідчать дані табл.9.5, значення швидкості можливих зіткнень суттєво залежать від розмірів часток. Максимальні швидкості у дрібних часток, мінімальні у найкрупніших; різниця між ними –майже в 5 разів. Основна причина цих відмінностей – можливий розкид тангенціальної складової швидкості у дрібних об'єктів більший, ніж у крупних.

9.4. Характеристики відносного потоку космічних об'єктів і прогноз техногенного забруднення НКП

Для оцінки характеристик відносного потоку космічних об'єктів припускається, що КА має сферичну форму і рухається на заданій орбіті. Концентрація часток "космічного сміття" різних розмірів в будь–якій точці НКП вважається відомою. Значення швидкості часток на даній h з достатньою точністю може бути розрахована за простими формулами еліптичної теорії. Статистичний розподіл можливих напрямків швидкості космічних об'єктів в будь-якій точці НПС також вважається відомим. Приймається також, що розміри КА значно більші від розмірів фрагментів, які з ним зіштовхуються.

Методика оцінки середнього очікуваного числа N зіткнень КА сферичної форми з "космічним сміттям" основана на інтегруванні диференціального рівняння:

$$\frac{dN}{dt} = F \cdot \rho(t) \left[\int_{A=0}^{2\pi} P(t, A) \cdot V_{rel}(t, A) dA \right], \qquad (9.13)$$

де t- час; F- площа поперечного перерізу сфери; $\rho(t)$- сумарна концентрація часток в певній точці НКП, де знаходиться КА в момент часу t; A – азимут напрямку швидкості деякого космічного об'єкта; $P(t, A)$– густина розподілу напрямку потоків космічних об'єктів в даній точці простору; $V_{rel}(t, A)$– залежність тангенціальної складової відносної швидкості в даній точці від азимуту.

Відносна швидкість дорівнює векторній різниці відповідно швидкостей космічних об'єктів і КА. Напрям відносної швидкості

характеризується тільки її відхиленням ΔA від тангенціальної складової швидкості КА. Цей кут дорівнює:

$$\Delta A \approx \pi - (A_{KA} - A)/2. \qquad (9.14)$$

Тут A_{KA}– азимут напрямку вектора швидкості заданого КА.

Значення відносної швидкості V_{rel} визначається за формулою:

$$V_{rel} \approx 2V_t \cdot \cos(\Delta A) \qquad (9.15)$$

Викладена методика дозволяє детально враховувати змінність потоку космічних об'єктів, як функцію елементів орбіт КА, що розглядається, і його положення в НКП. На основі рівняння (9.13) достатньо просто розрахувати різні характеристики очікуваних зіткнень КА, що розглядається, з техногенною речовиною. Методика використовує умову, що наявні в правій частині змінні функції $\rho(t)$ і $P(t, A)$ уже визначені.

Крім оцінки середнього потоку космічного об'єкта певний інтерес становлять і інші характеристики можливих зіткнень: густина напрямків підльоту космічних об'єктів при можливих зіткненнях, а також густина розподілу значень відносно її швидкості. Ці характеристики достатньо просто будуються на основі виразів (9.14) і (9.15), які дозволяють встановити зв'язок між миттєвим значенням потоку P(t, δA) в елементарному секторі δA:

$$P(t, \delta A) = F \cdot \rho(t) \cdot P(t, A) \cdot V_{rel}(t, A) \cdot \delta A \qquad (9.16)$$

і відповідними значеннями ΔA і V_{rel}. Відбувається складання оцінок (9.16) у відповідних "скриньках" гістограм розподілів $P(\Delta A)$ і $P(V_{rel})$. Після завершення інтегрування виконується нормування гістограм. Середнє значення питомого потоку "космічного сміття" Q_i (м$^{-2}$·рік$^{-1}$) біля орбіти, що розглядається, визначається за результатами інтегрування (9.13) на інтервалі одного витка:

$$Q_i = N_j (FT)^{-1} \qquad (9.17)$$

де T–тривалість витка.

Результати застосування викладеної методики для оцінки потоку "космічного сміття" відносно ряду типових орбіт КА, для 8 діапазонів розмірів космічних об'єктів (див. табл. 9.1) наведені в табл. 9.6 (наведені дані лише для нахилення i = 55 і 75º).

Типові орбіти КА прийняті круговими. За розрахункові значення висоти і нахилень орбіт прийняті відповідно: h=400,600,800,1000,1200,1400 км; i=55,75. Як видно з табл. 9.6, всі розглянуті аргументи (діапазон розмірів “космічного сміття”, h, i) суттєво впливають на характеристику, що розглядається. Для поданих значень нахилень відповідні оцінки потоку відрізняються не більше ніж, в 1,7 рази. Вплив висоти є більш суттєвим: для вказаних висот відповідні оцінки відрізняються приблизно на порядок. Найбільшим є вплив розмірів: відповідні оцінки відрізняються в 6000–7000 разів.

Таблиця 9.6

Питомий потік космічних об’єктів різних розмірів відносно КА з різними елементами орбіт

Нахилення, градуси	Номер діапазону розмірів	Значення питомого потоку КА ($м^{-2} \cdot р^{-1}$) для діапазонів розмірів на різних висотах (км)					
		400	600	800	1000	1200	1400
55	1	0,28E-2	0,75E-2	0,13E-1	0,17E-1	0,11E-2	0,11E-1
	2	0,29E-3	0,80E-3	0,14E-2	0,18E-2	0,12E-2	0,11E-2
	3	0,81E-4	0,22E-3	0,39E-3	0,48E-3	0,29E-3	0,28E-3
	4	0,12E-4	0,33E-4	0,54E-4	0,65E-4	0,38E-4	0,36E-4
	5	0,57E-5	0,15E-4	0,24E-4	0,27E-4	0,15E-4	0,14E-4
	6	0,26E-5	0,69E-5	0,10E-4	0,11E-4	0,60E-5	0,57E-4
	7	0,16E-5	0,40E-5	0,56E-5	0,58E-5	0,28E-5	0,29E-5
	8	0,41E-6	0,13E-5	0,24E-5	0,27E-5	0,83E-6	0,12E-5
75	1	0,37E-2	0,10E-1	0,18E-1	0,23E-1	0,14E-1	0,15E-1
	2	0,40E-3	0,11E-2	0,19E-2	0,24E-2	0,15E-2	0,16E-2
	3	0,11E-3	0,30E-3	0,54E-3	0,64E-3	0,39E-3	0,40E-3
	4	0,16E-4	0,44E-4	0,75E-4	0,87E-4	0,51E-4	0,53E-4
	5	0,78E-5	0,21E-4	0,33E-4	0,37E-4	0,21E-4	0,21E-4
	6	0,36E-5	0,93E-5	0,14E-4	0,15E-4	0,80E-5	0,85E-5
	7	0,21E-5	0,55E-5	0,79E-5	0,79E-5	0,39E-5	0,44E-5
	8	0,56E-6	0,17E-5	0,34E-5	0,37E-5	0,11E-5	0,18E-5

Дані про середню швидкість зіткнень КА з “космічним сміттям” на різних орбітах, які відрізняються висотою і нахиленням, наведені в табл. 9.7. Залежність від розмірів часток не наведена, оскільки вона проявляється слабо.

Таблиця 9.7

Оцінки середньої швидкості зіткнень

Нахил, градуси	Значення середньої відносної швидкості (км/с) на різних висотах (км)					
	400	600	800	1000	1200	1400
55	10,8	10,7	10,6	10,9	11, 2	11, 2
65	11,3	11, 2	11,1	11,7	11,6	11,5
75	12,2	12,2	12,1	12,0	12,4	12,3
85	12,5	12,4	12,3	12,9	12,8	12,7
95	13,2	13,1	13,0	12,7	12,6	12,6

Із табл.9.7 видно, що значення середньої швидкості можливих зіткнень змінюються в межах від 10,8 до 13,2 км/с в залежності від h і i. Найбільший вплив на ці оцінки здійснює нахил.

Розглянута методика була основана на припущенні, що КА мають сферичну форму. Для більшої достовірності оцінок необхідно також враховувати форми та орієнтації КА. Методика врахування форми та орієнтації КА на характеристики впливу можливих зіткнень детально викладена в роботі [53]. Середнє значення питомого потоку, визначене на основі рівняння (9.17) для КА сферичної форми з одиничною площиною перерізу, позначається, як Q_0. Для інших форм і розмірів КА потік космічних об’єктів *(P)* через їх поверхню може бути розрахований за простою формулою:

$$P = C_N F_{KA} \cdot Q_0 \qquad (9.18)$$

Коефіцієнт C_N враховує вплив форми КА та орієнтації його по осі; F_{KA} – характерна площа перерізу КА. Для тіл обертання вона приймається такою, що дорівнює площі їх осьового перерізу, а для панелі – площі її однієї сторони.

Для розробки заходів екологічної безпеки функціонування РКТ необхідно розробити ефективні методи прогнозування техногенного забруднення навколоземного космічного простору.

З цією метою розглядаються різні космічні об'єкти; висота перигею не перевищує 2000 км. Приймається, що із змінних параметрів лише висота перигею h_p суттєво впливає на еволюцію розподілу числа космічних об'єктів з висотою. Густина розподілу висоти об'єктів із вибраної групи в момент часу t позначається, як $P(t,h)$.

Методика прогнозування основана на інтегруванні рівнянь в частинних похідних [54], які описують еволюцію розподілу числа космічних об'єктів з висотою.

Приймається, що із змінних параметрів лише висота h_p суттєво впливає на еволюцію розподілу числа космічних об'єктів з висотою. Густина розподілу висоти об'єктів із вибраної групи в момент часу t позначається, як $P(t,h)$.

$$\frac{\partial P(t,h)}{\partial t} = V(t,h)\left[\frac{\partial P(t,h)}{\partial h} - \frac{P(t,h)}{H(t,h)}\right] + dP(t,h,\ldots). \qquad (9.19)$$

Тут $V(t,h)$- швидкість опускання перигею; $H(t,h)$ – висота однорідної атмосфери; $dP(t,h,\ldots)$- швидкість приросту числа космічних об'єктів за одиницю часу на різних висотах за рахунок різних причин.

При розрахунку еволюції розподілу числа космічних об'єктів з висотою враховуються наступні фактори:

1) гальмування космічних об'єктів в атмосфері на висотах до 2000 км; 2) розбиття всіх космічних об'єктів за елементами на групи, що відрізняються розміром d, значенням ексцентриситету e і балістичного коефіцієнта ξ; 3) вихідний розподіл космічних об'єктів різних типів з висотою; 4) очікувана інтенсивність утворення $dP(t,h,\ldots)$ нових космічних об'єктів різних типів в результаті запусків і вибухів; 5) нестаціонарність факторів, що враховуються, а саме густини атмосфери у зв'язку із зміною сонячної активності в 11– річному циклі та інтенсивності нових запусків.

Як відмічалось серед перерахованих факторів важливе значення має висота перигею.

Її характерна особливість в тому, що вона впливає на гальмування, сама змінюється під його дією (перигей опускається і супутники згоряють в атмосфері в області висоти 100 км). Тому висота – один із аргументів рівняння (9.19) і в розбиття не входить. Зовсім інший характер має вплив балістичних коефіцієнтів і розмірів космічних об'єктів: вони практично не змінюються в процесі еволюції орбіти. Проміжний характер має вплив ексцентриситету – він в певній мірі змінюється (зменшується) під дією гальмування, але ця зміна не грає суттєвої ролі, оскільки більшість космічних об'єктів має орбіти з малими ексцентриситетами.

Побудова поточного розподілу P*(t,h)* здійснюється на основі розглянутої методики прогнозування. Дані про прийняті номінальні розподіли щорічного приросту числа об'єктів dP (h) різних розмірів в діапазоні висот від 400 до 2000 км наведено в табл.9.8. Даним, наведеним у табл.9.8, відповідають дані про номінальний щорічний приріст кількості різних космічних об'єктів (табл.9.9).

Відношення числа космічних об'єктів розміром > 1см до номінального приросту числа каталогізованих об'єктів складає 54,5, що відповідає даним табл. 9.8: (10890 + 4290 + 1650 + 825 + + 330)/330=54,5

Дані про число об'єктів різних типів в 2000 р наведені в табл.9.9.

З метою демонстрації впливу різних заходів, спрямованих на послаблення техногенного забруднення, подаються результати прогнозів техногенного забруднення навколоземного космічного простору на 50 років (з 2000 до 2050р.) для об'єктів більше 1см.

В процесі прогнозів обстановки використано 5 сценаріїв, що характеризують вплив різних способів попередження катастрофічного забруднення НКП.

Сценарій 1– інтенсивність забруднення така ж, як і на протязі останніх 10 років.

Сценарій 2 – сценарій 1 плюс повне виключення утворення супутніх деталей.

Сценарій 3 – сценарій 1 плюс повне виключення вибухів.

Сценарій 4– зменшення в 2 рази числа запусків і пов'язаних з ними супутніх деталей і фрагментів руйнувань.

Сценарій 5 – всі заходи сценаріїв 2, 3 і 4 приймаються одночасно.

Таблиця 9.8

Номінальні висотні розподіли приросту dP(h)

Висота, км	Число КО в 100-км шарі для діапазонів розмірів j							
	1	2	3	4	5	6	7	8
450	956844	95960	22044	2828	1129	438	217	68
550	767947	76961	17081	2146	839	315	154	60
650	407257	40344	9194	1129	452	172	84	30
750	409629	40300	9031	1108	438	165	85	34
850	409662	39861	8458	1075	408	156	80	37
950	366712	35697	7376	916	349	136	68	36
1050	154685	15168	3235	397	160	60	30	15
1150	64300	6264	1430	186	78	31	15	5
1250	53251	5425	1236	164	71	29	15	4
1350	70709	6680	1561	214	84	36	20	6
1450	225197	21138	4340	543	209	82	42	26,3
1550	45620	4296	901	112	44	17	9	5,4
1650	11226	1059	235	29	12	5	2	1,3
1750	4662	443	99	13	5	2	1	0,8
1850	7592	684	149	19	8	3	2	0,9
1950	4707	441	92	11	4	2	1	0,5
Сума	3960000	390720	86460	10890	4290	1650	825	330

Таблиця 9.9

Число космічних об’єктів різних розмірів в 2000 р

Некаталогізовані космічні об’єкти різних розмірів (см)				Каталогізовані об’єкти (розміром >20 см)				
1,0-2,0	>2,0-4,0	>4,0-8,0	>8,0-20	ШСЗ	Ступені РН,РБ	Техноло-гічні осколки	Осколки вибухів	Всього
174113	66451	26254	8985	1416	808	2079	2427	6730

Загальна кількість об’єктів розміром більше 1 см склала 282 тис.

Сформульована мета прогнозів дозволяє не враховувати зіткнення крупних супутників розміром більше 10 см (каскадний ефект), як джерело забруднення. Серед об’єктів розміром більше 10 см зіткнення відбуваються в середньому один раз за кілька десятків років. Якщо будуть прийняті заходи щодо суттєвого зниження поточної інтенсивності забруднення, то несуттєвий вплив зіткнень крупних супутників на загальний рівень забруднення збережеться.

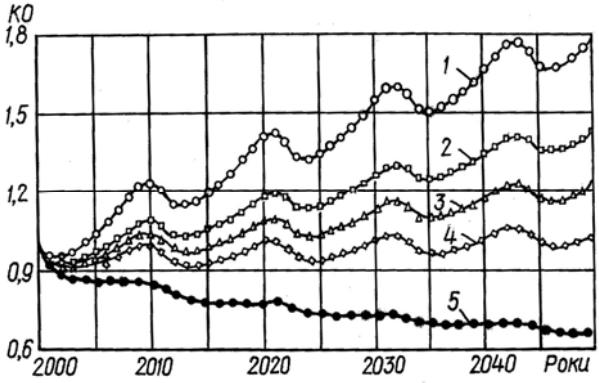


Рис.9.1. Зміна числа часток >1 см при різних сценаріях (1...5)

Результати прогнозу числа об’єктів розміром більше 1 см в умовах застосування кожного із розглянутих вище сценаріїв показані на рис.9.1. Використовується відношення поточного числа об’єктів до відповідного їх числа в початковий момент.

Отримані результати свідчать про наступне.

При збереженні поточної технічної політики (сценарій 1) основною закономірністю зміни чисельності “космічного сміття” є її монотонний ріст. Через 50 років число часток розміром більше 1 см збільшиться в 1,8 рази і досягне приблизно 500 тис. Відносно невелика періодична складова викликана 11–річним циклом сонячної активності і не має принципового значення.

Розглянуті способи обмеження інтенсивності утворення “космічного сміття” (сценарії 2, 3 і 4) приводять до суттєвого зниження темпів забруднення НКП. Найбільший ефект досягається при попередженні вибухів супутників (сценарій 3). Найменшу ефективність має попередження супутніх технологічних фрагментів (сценарій 2). Розглянуті заходи окремо не попереджують монотонний ріст техногенного забруднення НКП. Тільки сумісне застосування різних способів зниження інтенсивності утворення “космічного сміття” (сценарій 5) приводить до загального зменшення його чисельності (на 25–30 %).

Отримані оцінки є надзвичайно знаменними і свідчать про складність проблеми попередження монотонного забруднення НКП. Вони показують, що необхідний комплексний підхід до її вирішення, заснований на застосуванні всіх можливих способів зменшення інтенсивності утворення “космічного сміття”.

10. АВАРІЙНІ І НЕШТАТНІ СИТУАЦІЇ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РКТ

10.1. Стан проблеми і основні характеристики ситуації

В цілому надійність РКТ постійно зростає (див. розділ 2), однак повністю виключити виникнення аварійних і нештатних ситуацій під час її експлуатації в нинішніх умовах та й в недалекому майбутньому практично неможливо. Про це свідчить як попередня, так і нинішня практика використання РКТ. Всі пуски РН поділені на три категорії:

1) успішні (усп.) –аппарат відділився від останього ступеня РН або РБ і виведений на задану траєкторію польоту;

2) частково успішні (ч/усп.) –об’єкт не виведений на розрахункову орбіту або не відділився від РН чи РБ, або був пошкоджений при виведенні, або не був скинутий головний обтічник;

3) аварійні (авар.) –відбулось руйнування РН на дільниці виведення, відмови в роботі ступенів РН, в результаті яких КА не виведені на навколоземну орбіту.

Статистика пусків російських РН за станом на 24.03.1996 р. свідчить: загальна кількість невдалих (ч/усп. + авар.) запусків склала 192 (~7%), що видається не такою вже малою кількістю, якщо взяти до уваги, що в статистику не ввійшли аварії в процесі транспортування і передстартової підготовки вильотів та всі інші випадки до моменту відриву РН від пускової установки. Відомості щодо 236 пусків РН "Протон" (8К82) і "Протон-К" (8К82К), здійснених в період 1965-1995 рр. з РБ і без них, подаються в табл. 10.1.

Таблиця 10.1

Підсумкові дані про пуски РН сімейства "Протон" з різними РБ

Тип РН/РБ	Всього пусків	Усп.	Відмова РБ	Відмова перших 3 ступ.
8К82	4	3		1
8К82К	27	24		3
8К82К/11С824	40	25	6	9
8К82К/11С824М	10	10	0	0
8К82К/11С824Ф	2	2	0	0
8К82К/11С86	66	60	1	5
8К82К/11С861	85	79	3	3
8К82К/11С861-01	2	2	0	0

В табл.10.2. наводиться список частково успішних і аварійних пусків американських РН сімейства "Дельта".

Серед них виділяється пуск №241, виконаний об 11 год 28 хв. ЕЕТ, коли РН "Дельта-2" вибухнула на висоті 500м на 13-й с. польоту, перетворившись в хмару уламків і токсичних газів. За повідомленнями, 5-6 машин і декілька трейлерів знищені

пожежами, що виникли внаслідок вибуху і падіння горючих уламків, вогнем були пошкоджені декілька будівель космодрому.

Таблиця 10.2

Частково успішні і аварійні пуски американських РН сімейства "Дельта" (США)

Серійний номер	Космодром	Дата	Корисне навантаження
1	МК	13.05.1960	Echo 1
24	МК	19.03.1964	Beacon Explorer A
33	МК	25.08.1965	OSO-C
59	МК	18.09.1968	Intelsat III F-1
71	МК	26.07.1969	Intelsat III F-5 (*)
73	МК	27.081969	Pioneer-E + TETR-C
86	Ванден.	21.10.1971	ITOS B
96	Ванден.	16.07.1973	ITOS E
100	МК	19.01.1974	Skynet 2A (*)
130	МК	20.04.1977	ESA-GEOS 1 (*)
134	МК	13.09.1977	OTS
178	МК	13.05.1986	GEOS-G
241	МК	17.01.1997	Navstar 2-28 (2R-1)

На протязі доби після аварії велика кількість жителів Флоріди зверталась за медичною допомогою у зв'язку з палінням в очах,в горлі і на руках. Слід відмітити і ряд інших, найбільш значних за своїми наслідками, аварій останніх років: вибух "Челленджера" на 73-й с. польоту 28.01.1986 р. та під час посадки в Каліфорнії в 2002 р. – найбільш трагічні аварії в історії американської космонавтики; вибух китайської РН "CZ-3B" через 22с. після запуску 14.02.1996р. з космодрому Сичан (врізався в землю), коли загинуло 6 чоловік і більше 100 отримали поранення або відчу-

ли дію токсичних продуктів вибуху; надто "неприємні" з точки зору поповнення "космічного сміття" відомі вибухи РН "Аріан-1",запущеної 22.02.1986 р., і четвертого ступеню РН "Пегас" 3.06.1996 р., яка знаходилась на орбіті з нахиленням 82° і висоті 588х820 км [55].

В даний час чітка і ясна класифікація аварійних і нештатних ситуацій, пов'язаних з РКТ, не розроблена через надзвичайну різноманітність причин, що приводять до таких ситуацій, а також різноманітність і часто непередбачуваність наслідків аварій, включаючи їх екологічні аспекти. Однак очевидно, що найбільшу небезпеку з усіх точок зору становлять вибухи РКТ, які по праву можна віднести до серйозних техногенних катастроф,

Необхідно відмітити, що вибухи РКТ і їх вплив на НПС найменш вивчені в загальних дослідженнях дії РКТ на різні геосфери Землі. Це пояснюється двома причинами. По-перше, відсутністю в достатньому об'ємі експериментальних даних, оскільки вибухи РКТ на поверхні землі, в процесі польоту на дільниці виведення об'єктів або функціонування космічних об'єктів на орбітах носять явно випадковий характер. Це приводить, природно, до неможливості організації ранньої діагностики характеристик самого вибуху і його наслідків для НПС. По-друге, великими труднощами "фізичного" опису цього явища – процес вибуху (на відміну від його класичного визначення) помітно розтягнутий за часом, розвиток вибуху і його дія на НПС суттєво залежать від висоти. Одночасно з вибухом відбувається горіння різних речовин (палива, кабелів, обмазки тощо), а також розліт твердих елементів та уламків конструкції, поширення газоподібних та аерозольних часток.

Оцінка дії вибухів РКТ на НПС помітно відрізняється від аналогічних оцінок при нормальному функціонуванні техніки. В даному випадку виникає необхідність врахування цілого ряду нових моментів. До них відносяться розгляд вибуху РКТ, як явища, що безпосередньо впливає (уражує) на населення, різні об'єкти, технічні системи і засоби наземного та космічного базування. Інший важливий момент пов'язаний із суттєво більшими просторовочасовими масштабами виникаючих збурень в НПС і відмінностями в фізичних процесах, що розвиваються в цих збуреннях. Останні обставини вимагають використання нових, нетрадиційних підходів і методів при розгляді проблеми.

У всьому світі найважливішою характеристикою вибуху будь-якого виробу РКТ вважається його потужність q, вимірювана, як і для вибухів хімічних вибухових речовин чи ядерних вибухів, в тоннах (т) або кілотоннах (кт) тротилу. В ракетобудуванні значення q при вибухах РН, РБ визначаються, в основному, за емпіричними формулами, наведеними в табл.10.3, М-маса (в тоннах) компонентів палива.

Таблиця 10.3

Формули для визначення тротилового еквівалента вибуху РН або РБ

Паливо	Умови вибуху	Формула для q, т
АТ + НДМГ	На землі Падіння на землю	$0{,}95\ м^{2/3}$ $1{,}11\ м^{2/3}$
O_2 + РГ1	На землі Падіння на землю	$1{,}4\ м^{2/3}$ $1{,}63\ м^{2/3}$
O_2 + H_2		$0{,}32\ м^{2/3}$

Рівняння для вибухів на землі в першому наближенні можна використовувати і у випадку польоту РН, РБ. В той же час формули табл.10.3 з фізичної точки зору не зовсім коректні, відносяться до вибухів з великою масою компонентів палива, що не прореагували, і в ряді випадків можуть приводити до заниження конкретних оцінок дії вибухів на НПС.

10.2. Уражаючі фактори вибухів РКТ

До уражаючих факторів, пов’язаних з вибухами РКТ, відносяться: ударна хвиля, теплове випромінювання від виникаючої високонагрітої області простору (вогняної кулі, якщо провести аналогію з ядерним вибухом або вибухом хімічних вибухових речовин), хімічні забруднення високотоксичними продуктами вибуху, електромагнітний імпульс, уламки та елементи конструкцій, які розлітаються з великою швидкістю, проникаючі випромінювання при вибухах РКТ з ЯЕУ. З точки зору ураження населення, об’єктів і будь-яких технічних систем

роль і значення вказаних факторів визначається висотою вибуху і частково типом вибуху. Так, ударну хвилю і теплове випромінювання, очевидно, слід розглядати лише на 0 км ≤ h < 50 км; хімічні забруднення і проникаюче випромінювання – при вибухах на поверхні землі і в приземних шарах атмосфери; електромагнітний імпульс і розліт уламків і елементів конструкції на h > 200 – 300 км, коли виникає можливість їх дії на інші КА, що функціонують на орбітах.

10.2.1. *Ударна хвиля*

Під час вибуху будь-якого виробу РКТ на землі (на СК, ТК, при транспортуванні тощо) параметри ударної хвилі розраховуються за емпіричними формулами [56]:

$$\Delta P_m = 0{,}95/(R^0) + 3{,}9/(R^0)^2 + 13{,}0/(R^0)^3,$$

$$t_x = 1{,}7q^{1/6} R^{1/2},\ I = 54q^{2/3}/ R\ . \qquad (10.1)$$

Тут ΔP_m – приріст максимального тиску (кг/см^2); t_x – тривалість позитивної фази ударної хвилі в повітрі нормального тиску (мс); I – питомий імпульс позитивної фази (кг·с/м^2); R – відстань від вибуху (м); q – в кг; $R^0 = R/q^{1/3}$. Рівняння (10.1) можуть бути застосовані в діапозоні:

$$1 \le R^0 \le 100 \qquad (10.2)$$

Як приклад, в табл.10.4 наведені результати розрахунків ΔP_m для різних варіантів вибухів РН “Ангара” на землі за припущення q = M

Таблиця 10.4

Результат розрахунків ΔP_m для різних варіантів вибухів РН “Ангара”

R_i, м	Приріст максимального тиску (кг/см^2)		
	I ступінь q=82,5 т	II ступінь q=35,49 т	I ст + II ст + РБ· ”Бриз – М”, q =124,49 т
50	12,35	6	17,79
100	2,22	1,2	3,07
300	0,26	0,17	0,33
500	0,12	0,08	0,15

1000	0,05	0,04	0,06
2000	0,023	0,02	0,03
3000	0,015	0,011	0,02
4000	0,011	0,008	0,012

У відповідності з роботою [56], характерні відстані r(м) за дією ударної хвилі наземного вибуху на будівлі, споруди і персонал при q>104 кг, що повністю відповідає характеристикам РКТ, визначаються за формулою:

$$r = kq^{1/3}, \qquad (10.3)$$

де k – емпіричні коефіцієнти. При k = 60-100 мають місце випадкові пошкодження засклення, при k = 30-50 – повне руйнування засклення, часткове пошкодження рам, дверей, внутрішніх перегородок. Значення k = 15 відповідає безпечній відстані для людей.

В принципі характер дії на людей повинен залежати від максимального тиску ΔP_m і тривалості позитивної фази ударної хвилі (рис. 10.1)

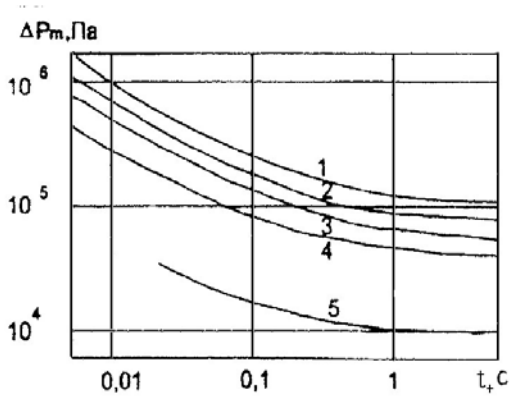


Рис. 10.1. Залежність характеру ураження від надлишкового тиску і тривалості позитивної фази ударної хвилі:

1 – смертельні травми; 2 – важкі смертельні ураження; 3 –ураження не нижче середнього ступеню важкості; 4 – переважно легкі ураження; 5 – баротравми

Безпечна відстань за дією ударної хвилі на людей найгіршого із розглянутих в табл.10.4 вибухів складає r ≥ 750 м, а ΔP_m= 0,85 кг/см^2. При ΔP_m ~ 0,1 кг/см^2 можуть спостерігатись лише баротравми (рис. 10.1).

Якщо вибух відбувається в процесі польоту засобів виведення, то при оцінках (табл.10.3) необхідно, звичайно, враховувати

зменшення маси ракетного палива до моменту вибуху через його згоряння в двигунних установках. Для РН “Ангара”, що розглядається, значення q в залежності від h з врахуванням даних розділу 2 наведені в табл. 10.5.

Таблиця 10.5

Тротилові еквіваленти можливих вибухів РН “Ангара” на різних h

h, км	0	5	20	100	200
q, т	124,49	104	86,8	34,2	5,7

Аналогічним чином розраховуються значення q і для інших засобів виведення.

Оцінка ΔP_m при вибухах на різних h може проводитись двома способами. Без врахування протитиску P(h), тобто тиску повітря на висоті h, коли в першому наближенні справедливе рішення задачі про сильний вибух в ідеальному газі,

$$\Delta P_m = 0{,}14E/ R^3, \qquad (10.4)$$

де ΔP_m –в дин/см^2 ; E –енергія вибуху (ерг), що визначається, як правило, через q ($E = 4{,}19\cdot 10^{19}$ q ерг, якщо q виражається в кт); R – в см. Формула (10.4) використовується на відстанях, поки $\Delta P_m >> P(h)$. Для значень $\Delta P_m < 10P(h)$ доцільно користуватись модифікованими рівнянням (10.1):

$$\Delta P_m/ P(h) = 0{,}76/(R') + 2{,}55/ (R')^2 + 6{,}5/(R')^3, \qquad (10.5)$$

в якому $R' = R[P(h)/(P_0E)]^{1/3}$, $P(h)/ P_0$ – відношення тисків на висоті вибуху і рівні моря.

Співвідношення (10.1)–(10.5) отримані на основі законів газової динаміки суцільного середовища. Відомо, що із зменшенням P(h) і, відповідно, густини повітря з ростом h застосування цих законів стає все більш обмеженим: на висотах, що перевищують деяку критичну висоту, газодинамічна ударна хвиля просто не утворюється. Критерій, який визначає виникнення такої ситуації, тісно пов’язаний не тільки з h, але й із енергією вибуху. Результати експериментальних досліджень вибухів хімічних вибухових речовин з $E \sim 10^{13} – 10^{16}$ ерг на h ~ 60 – 160 км і відомості, наведені в розділах 2 і 3, про вироби РКТ дозволяють зробити висновки, що рівняння (10.1)–(10.5) можна використовувати аж до h ~ 200 – 220 км.

10.2.2. *Теплове випромінювання при вибухах*

Оскільки проблема дії теплового випромінювання вибухів РКТ на НПС через її надзвичайну складність мало вивчена, основним інструментом її дослідження є напівемпіричні і числові моделі [57-58].

В розвитку вибуху на висотах h<50км можна виділити 3 основних етапи:

1) руйнування ракети;

2) розліт продуктів вибуху, супроводжуваний утворенням ударної хвилі в оточуючому повітрі;

3) спливання високотемпературної хмари під дією сили Архімеда, перемішування і хімічна взаємодія продуктів вибуху з повітрям, дія на НПС теплового випромінювання.

Аналіз процесів першого етапу дозволяє визначити енергію вибуху, масу компонентів, що прореагували і не прореагували. Існує багато різних сценаріїв цього початкового етапу (наприклад, табл.10.3, де наведені формули для розрахунку q). Для оцінки екологічних наслідків вибуху слід розглядати найгіршу ситуацію, яка виникає з припущенням, що відбувається детонація всієї маси палива ракети і вогняна куля, що утворюється, має найбільші розміри і найвищу температуру.

Характерні параметри процесу розльоту продуктів вибуху можна оцінити за формулами [57]: відстань, на яку розлітаються продукти при їх русі в повітрі

$$R_p = (3M/4\pi\rho_\alpha)^{1/3},$$

де ρ_α – густина атмосферного повітря на висоті h вибуху ракети; M – повна маса палива в баках ракети на висоті h;

Швидкість розльоту продуктів

$$U_p = \sqrt{2Q},$$

де Q – теплотворна здатність палива (на одиницю маси суміші окислювача і палива), що являє собою уже дещо інший підхід в порівнянні з даними табл. 10.4; час розльоту продуктів

$$t_p = R_p/U_p$$

Якщо виконується умова $R_p >> V_f^{1/3}$, де V_f – сумарний об'єм баків окислювача і палива, то в цьому випадку процес розльоту продуктів можна розглядати як сферичний вибух і використати для його фізико–математичного опису системи одномірних сферично-симетричних рівнянь радіаційної газодинаміки.

Теплове випромінювання описується рівнянням переносу, яке, якщо знехтувати розсіюванням, має вигляд:

$$\frac{\partial I_\varepsilon}{\partial S} = k_\varepsilon B_\varepsilon - k_\varepsilon I_\varepsilon$$

Тут ∂S –елемент довжини вздовж напрямку променя; ∂I_ε- спектральна інтенсивність випромінювання, яка залежить, крім просторових координат і часу, від енергії фотонів ε і напрямку їх поширення; $B_\varepsilon(T)$ – рівноважна інтенсивність випромінювання, яка залежить від температури T газу; $k_\varepsilon(\rho,T)$–спектральний лінійний коефіцієнт поглинання, як функція густини і температури газу. Зміна густини ρ і температури T випромінюючого газу з часом і в просторі залежить від інтегральних як за напрямком, так і за спектром характеристик теплового випромінювання, що визначає виключну складність рішення інтегродиференціальної системи рівнянь радіаційної газодинаміки.

У випадку сферично-симетричного руху газу густина потоку випромінювання через сферичну поверхню радіуса r визначається співвідношенням

$$q_r = 2\pi \int_0^\infty d\varepsilon \int_{-1}^{1} I_\varepsilon \mu d\mu,$$

де μ = cos θ, θ – кут між напрямком руху фотонів і позитивним напрямком вісі r.

Чисельне моделювання вибуху рекомендується проводити за допомогою повністю консервативних різницевих схем газодинаміки [59], які коректно враховують баланс між кінетичною енергією і внутрішньою енергією газу. Для розв’язування рівняння переносу випромінювання застосовуються наступні обчислювальні методи: дифузійне наближення, метод квазідифузії, двохпотокове наближення та інші.

Для оцінки потужності випромінювання, що виникає під час аварійного вибуху РН, необхідно знати хімічний склад продуктів детонації, їх термодинамічні та оптичні властивості. Хімічний склад продуктів вибуху розраховється з припущенням про повну перемішаність компонентів палива з урахуваням їх маси на тій висоті, на якій відбулася аварія. При цьому теплота згоряння визначається за різницею ентальпій утворення продуктів згоряння і компонентів палива, що вступили в реакцію.

Склад суміші, яка хімічно реагує, дисоціює та іонізується, розраховується з припущенням локальної термодинамічної рівноваги. В молекулярній області при температурі $T < 10^4$ К враховується > 40 газоподібних компонент. Результати чисельних розрахунків розвитку вибуху РН–утворення вогняної кулі під час вибухів ракет різного типу поблизу поверхні землі (h=0 км) і на висоті = 20 км (на цю висоту приходиться максимум озонового шару Землі і теплове випромінювання може помітно вплинути на O_3) свідчать, що вогняна куля має складну структуру: внутрішня область зайнята продуктами вибуху з густиною на порядок меншою, ніж густина повітря з температурою 1500–2000К при вибуху РН "Ангара"; зовнішня область являє собою повітряний шар сфери, в якому температура падає від 2500К на внутрішній границі шару до температури незбуреної атмосфери на його зовнішній границі. Для характерного радіуса вогняної кулі R_{fb} = r (T=500K) існує формула:

$$R_{fb} \sim (M/\rho_\alpha)^{1/3} \sim (E/\rho_\alpha)^{1/3}$$

Внутрішня енергія газу в вогняній кулі практично дорівнює хімічній енергії палива, що виділилась при вибуху (втрати енергії на випромінювання за 0,3 с складають менше 2% від енергії вибуху E = MQ).

Таким чином, основних ефектів, пов'язаних з дією теплового випромінювання на НПС, слід чекати при спливанні вогняної кулі і утворенні тороїдального терміка.

Характерний час початку спливання вогняної кулі оцінюється за допомогою співвідношення:

$$t_b = [2R_{fb}\rho_p / (\rho_\alpha - \rho_p)g]^{1/2},$$

де ρ_p – характерна густина продуктів вибуху, g – прискорення вільного падіння. Прийнявши R_{fb} = 100м, ρ_α/ρ_p=10, можна визначити $t_b \sim 1$с.

В роботі [58] розглядається чисельна модель вибуху РН, який розвивається за наступним сценарієм: детонації палива з масою, що складає малу долю φ від всієї маси палива ракети, утворюється початкова область вогняної кулі; потім починається її розширення, яке супроводжується згорянням компонентів палива, що не прореагували, з заданою швидкістю поширення полум'я V_n при атмосферному тиску (V_n = 0,2 – 9 м/с, що значно менше швидкості детонації ~ 1 км/с); після вигоряння всього палива вогняна куля остигає в

результаті теплового випромінювання, а також процесу розширення при спливанні у вільній атмосфері і перемішуванні високотемпературних продуктів згорання з холодним повітрям. В чисельній моделі припускається, що має місце сферична симетрія і вогняна куля однорідна за густиною, температурою, рівноважним хімічним складом [59].

Порівняння результатів розрахунків, отриманих для різних значень параметра φ, свідчать про слабку чутливість розрахункової моделі до умов на початковій стадії розвитку вибуху РН. Найбільш небезпечними (за радіаційним тепловим навантаженням) є перші 10 с після вибуху. Радіаційні теплові потоки на відстані 500м від центру вибуху досягають значень ~7 Вт/см^2. Як відмічається в роботі [58], під дією таких потоків випромінювання можуть бути зруйновані елементи конструкцій бортового комплексу і систем аварійного рятування.

Вогняна куля, що утворилася при вибуху РН, є потужним джерелом теплового випромінювання, яке становить небезпеку у зв'язку з можливістю виникнення крупномасштабних пожеж. Густина енергії, підведеної за час 10–20 с і необхідної для запалювання дерев, складає E_i = 40 Дж/см^2. Виходячи із значення E_i, оцінюється радіус області радіаційного ураження, в якій можуть виникнути пожежі під дією теплового випромінювання вибуху РН.

$$R_i = R_{fb} + (E_{r0} / 4\pi E_i)^{1/2},$$

де E_{r0} – втрати енергії на випромінювання, яке поширюється на великі відстані за час порядку 10с; за оцінками для сухого повітря вони складають 10 % від енергії вибуху. Значення R_i при E_{r0} = 0,1E наведені в табл.10.6.

Таблиця 10.6

Радіус R_i, області, що піддається пожежам при вибуху РН

Тип ракети	Вид палива	Маса палива М, т	Енергія вибуху Е, ТДж	Доля Его/Е радіаційних втрат енергії за10с	Ri, м
"Ангара " легкого класу	кисень-гас	130	1,5	0,1	300
"Ангара " середнього класу	кисень-гас	420	4,8	0,1	500

"Протон-К"	АТ-НДМГ	620	4,5	0,1	500

Слід відмітити, що вологість атмосферного повітря здійснює помітний вплив на його екрануючі властивості, і, отже, на розмір радіаційного ураження.

10.2.3. *Дія вибухів виробів з ЯЕУ на навколишнє середовище*

Найбільш несприятливою подією з точки зору дії на НПС, надто маловірогідним, але все ж таки не неможливим є тепловий вибух ЯР. Слід пам'ятати, що вірогіднісь такої масштабної аварії АЕС, як Чорнобильська, оцінювалась частотою $10^{-7}...10^{-6}$ за рік. Однак вона трапилась, і це підтверджує, що неможливо створити ЯР, повністю надійний за всіх обставин.

Тепловий вибух може бути зумовлений випадковим виникненням критичності у непрацюючого ядерного реактора або неконтрольованим розгоном ланцюгової реакції у працюючого.

Виникнення першої події можливе при аварійних ситуаціях із спорядженим ЯР: із зібраною активною зоною і заправленим рідинно-металевим теплоносієм. Падіння ЯР в воду, занурення в грунт, введення органів регулювання в відбивач при осьовому напрямку удару – все це викликає зміну умов розмноження нейтронів в активній зоні і може призвести до позитивної реактивності. Таке може трапитись при транспортуванні, при запуску КА з ЯР , при виході на орбіту.

Поява критичності викликає виникнення ланцюгової реакції ділення, виділення тепла, дисбаланс між тепловиділенням і тепловідведенням, –і в результаті відбувається тепловий вибух. При цьому потужність вибуху q може бути еквівалентна за енерговиділенням декільком десяткам кілограмів тротилу.

При короткочасному протіканні реакції ділення аварійний ЯР стає джерелом гамма–і нейтронного випромінювання, яке випускається до моменту розльоту конструкцій ЯР. В активній зоні виробляється певна кількість радіоактивних осколків ділення, а матеріали конструкцій активуються нейтронами. Ядерне паливо, яке не прореагувало, осколки ділення і радіонукліди наведеної

активності при розльоті конструкції створюють радіоактивне забруднення НПС.

Вихід миттєвого випромінювання визначається тими ж закономірностями розрахунку гамма–і нейтронного випромінювання, які були розглянуті в розділі 8. Однак на відміну від поширення випромінювань в вакуумі для приземного вибуху необхідно враховувати їх послаблення повітрям і накопичення розсіяного компонента. Приклад розрахунку дозного поля при тепловому вибуху ядерного реактора з тепловою потужністю 150 кВт наведений в таблиці 10.7.

Таблиця 10.7

Потужність еквівалентної дози в залежності від відстані

Відстань, м.	10	100	200	500	1000
Потужність дози, Бер/с	0,55	$3{,}3\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-4}$	10^{-5}	$3\cdot10^{-7}$

Як уже відмічалось, реакція ділення продовжується до розльоту конструкції ЯР. Цей час може складати до декількох секунд(нагрівання, плавлення і випаровування ядерних матеріалів і конструкційних оболонок), і в залежності від нього будуть формуватись значення доз випромінювання. Згідно з НРБУ-97 гранично допустима річна доза для персоналу складає 5 бер і 0,5 бер (границя дози) для населення (за 8800 годин).

Співставлення цих даних з результатами розрахунків показує, що на відстані одного кілометра від місця вибуху потужність дози, створеної миттєвим випромінюванням, може перевищувати її допустимі значення. Із зменшенням відстані це перевищення може досягати декількох порядків від початкового значення.

Диспергованi вибухом конструкційні елементи ядерного реактора, в тому числі ядерне паливо, ізотропно (або неізотропно, в залежності від умов аварії) розлітаються в різні сторони, формуючи радіоактивне забруднення місцевості в районі вибуху. Частина їх піднімається вгору, утворюючи хмару вибуху, яка рухається зі швидкістю і напрямом вітру на максимальній висоті підйому цієї хмари. Із хмари, яка рухається , частина радіоактивної суміші осідає на землю, формуючи її радіоактивний слід. Частки більших

розмірів(діаметр від 50 –100 мкм і більше) випадають в районі вибуху. Більш дрібні частки розподіляються на всій площі сліду.

Джерелами іонізуючих випромінювань при аварійному вибуху можуть бути: частина ядерного палива, яка не прореагувала, радіоактивні продукти ділення, радіонукліди наведеної активності.

Питома активність урану–235, що використовується як паливо, дуже мала, і на фоні активності інших джерел цей компонент можна не враховувати.

Продукти ділення – це штучні радіонукліди, які утворюються при діленні ядра урану. Всі вони гамма (γ) і бета (β)–випромінювачі з достатньо великими енергіями, що зумовлює їх сильну проникаючу здатність, особливо γ–випромінювання.

Періоди напіврозпаду радіонуклідів, які утворюються, лежать в межах від долей секунд до декількох років. Довгоживучі продукти ділення і визначають рівень радіаційної безпеки при радіоактивному забрудненні місцевості на довгі роки. Зміна активності осколків ділення з часом при тепловій потужності ядерного реактора, яка складає 1 кВт, показана в таблиці 10.8.

Таблиця 10.8

Питома активність продуктів ділення (Кі/кВт) в залежності від часу після вибу ху

Час	1 година	15 діб	3 місяці	6 місяців	1 рік	3 роки	5 років	10 років
Питома активність	$5{,}6\cdot10^3$	$1{,}6\cdot10^3$	$7\cdot10^2$	$5\cdot10^2$	$2{,}8\cdot10^2$	$1{,}4\cdot10^2$	80	44

Радіонукліди наведеної активності утворюються, в основному, при радіаційному захваті нейтронів ядрами елементів, які входять в склад теплоносія і конструкційних металів. Сумарна їх активність невелика, і вони можуть внести певний вклад в забруднення місцевості в перші кілька діб після аварійного вибуху.

Таким чином, основним джерелом радіоактивного забруднення місцевості для аварійної ситуації, що розглядається, є осколки ділення.

Наслідки теплового вибуху з виділенням в середньому енергії 20 мВт·с показані в таблиці 10.9.

Як свідчать дані таблиці 10.9, тільки приблизно через рік (10^7с) потужність дози може зрівнятись з її допустимим значенням на відстані 30 м від місця вибуху.

Таблиця10.9

Значення потужності доз на границі стартової площадки в залежності від часу

Час, с	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7
Потужність дози, Р/год	$7\cdot10^2$	$3\cdot10^2$	9	0,8	$8\cdot10^{-2}$	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}

Висота підйому хмари залежить від потужності вибуху. Так, при q=10 кг тротилу висота підйому приблизно складає 150–200 м. Інтенсивність радіоактивного зараження вздовж сліду хмари дуже сильно залежить від кількості радіоактивних продуктів, які перейшли в аерозольну фазу. При оцінці можливого радіаційного стану, виходячи з принципу забезпечення максимальної безпеки, можна вважати, що в аерозольний стан переходить не менше 30-50% маси радіоактивних металів. Перенесення хмари описується рівнянням розподілу для миттєвого точкового джерела радіоактивної суміші. Результати розрахунків дози за 30 діб в залежності від відстані до старту при вибуху ядерного реактора з тепловою потужністю 50 кВт і розміром часток 30 мкм при швидкості вітру 5 м/с показані в таблиці 10.10.

Таблиця 10.10

Доза за 30 діб в залежності від відстані до стартової площадки

Відстань, м.	0	0	200	400	600	800
Доза, бер.	100	25	0,15	0,03	0,01	0,003

Зона зараження буде мати форму витягнутого еліпса з розміром вісі 1-2 км за вітром в залежності від його швидкості і 200-500 м. в поперечному напрямку. При цьому допустима доза за цей же час для персоналу складає 0,17 бер, а для населення 0,017 бер.

Із збільшенням висоти вибуху розміри забруднення зростають. Результати розрахунків під час вибуху ЯР з тепловою потужністю 50кВт на висоті 3 км свідчать, що зона можливого зараження місцевості буде мати форму еліпса з розмірами осей 2-4 км. за

вітром і 1-1,5 км шириною в залежності від висоти вибуху і швидкості вітру.

Виконані оцінки показують, що при тепловому вибуху ядерного реактора радіоактивне забруднення місцевості носить, в основному, локальний характер і в умовах реального розміщення стартів не може становити небезпеки для населення, оскільки забруднені території будуть повністю знаходитись в границях полігонів.

За рівнем допустимих концентрацій радіонуклідів в повітрі (від 10^{-13} до 10^{-16}) границі поширення хмари можуть складати до декількох десятків км. Однак повне осідання часток відбудеться за час, який не перевищує кількох годин, а рівень зовнішнього опромінення (потужність дози) на цих відстанях буде суттєво нижче від допустимих значень.

При тепловому вибуху ЯР на орбіті сумарна активність осколків ділення буде залежати від потужності і тривалості роботи ЯР (табл.10.11).

Таблиця 10.11

Питома активність осколків в залежності від тривалості роботи ЯР (при нульовій витримці)

Час роботи, дні	30	60	90	120	150	180	360	720
Активність, Кі/кВт	2382	2472	2528	2566	2593	2614	2673	2711

Тепловий вибух ядерного реактора в космосі приведе до збільшення загальної маси «космічного сміття». Частина радіоактивних фрагментів, які утворюються з часом (в залежності від висоти їх орбіти і маси) ввійде в щільні шари атмосфери і в більшості своїй згорить. І лише невелика їх частина може досягти поверхні Землі. Враховуючи фрагментацію конструкції ядерного реактора і розподіл фрагментів в результаті розльоту при вибуху в достатньо великій області космічного простору, можна вважати, що небезпека радіоактивного забруднення верхніх шарів атмосфери, а в подальшому земної поверхні буде значно нижчою, ніж при безпосередньому поверненні в атмосферу всієї установки. Основна небезпека буде зумовлена збільшенням вірогідності

зіткнення заново утворених фрагментів з діючими космічними об’єктами.

10.3. Дія вибухів РКТ на НПС

Поведінка НПС в умовах аварій і вибухів виробів РКТ є найменш дослідженою. Виключення складають, можливо, тільки вибухи на дуже великих висотах, в результаті яких збільшується “космічне сміття” в НПС (розділи 9, 10.2) і вибухи на поверхні землі. Але і в останньому випадку через складну картину розвитку вибухів оцінка реакції навколишнього середовища на вибух проводиться, в основному, емпіричним шляхом. Як уже відмічалось, надто негативну роль грає випадковий характер виникнення аварійної або нештатної ситуації.

10.3.1. *Дія вибухів на наземні екосистеми*

Із розглянутих вище вражаючих факторів вибуху найбільш інтенсивну дію на наземні екосистеми здійснює ударна хвиля, механічна дія фрагментів конструкції, що розлітаються з великою швидкістю, теплове випромінювання.

Згідно з оцінками, виконаними в роботі [60], при вибуху, потужність якого еквівалентна вибуху 1кг тротилу, в результаті дії ударної хвилі і осколків, що розлітаються, екосистемі завдається збиток в середньому на площі біля 10 м^2. Люди в такій зоні напевне загинуть, а вся деревна рослинність буде знищена. При утворенні воронки від вибуху, еквівалентного 250 кг тротилу, переміщується в середньому біля 70 м^3 грунту, в залежності від типу грунту та особливостей протікання аварії РКТ.

Механічна дія фрагментів конструкції, які розлітаються з великою швидкістю, в одних екосистемах може бути більш сильною, ніж в інших – особливо це відноситься до лісів, де осколки, які потрапляють в дерева, можуть відкрити шляхи для вторгнення мікроорганізмів.

При порушенні герметичності паливних баків аварійної РН до моменту удару об землю може відбуватися викид в атмосферу і розпилювання компонентів палива з утворенням вибухової об’ємної суміші (наприклад, киснево-водневої). В цьому випадку частина біомаси екосистеми буде піддана біоцидній дії. Так,

найпростіші типи бойових паливно – повітряних сумішей здатні знищити рослинний покрив і листя на деревах на площі 10 $м^2$ на 1 кг паливної суміші [60].

Ступінь ураження екосистеми внаслідок пожеж суттєво залежить від природних умов. Так, степ особливо вразливий в сухий сезон, тоді як вологі ліси менш вразливі. Виникнувши, пожежі можуть прийняти величезні розміри і охопити території в сотні і тисячі квадратних кілометрів. Ці пожежі тривають дуже довго. Відомо, що вогнища лісових пожеж можуть тліти під сніговим покривом на протязі всієї зими і розгорятись наступного літа, коли деревне паливо для них підсохне.

Ударна хвиля вибуху здатна викликати місцеве порушення грунту шляхом утворення воронок. Її дія поширюється радіально у всіх напрямках від точки вибуху. Однак, інтенсивність, отже, і вражаюча дія вибуху різко зменшується з відстанню (див. розділ 10.2), а характерні особливості рельєфу оточуючої місцевості можуть створювати захисний ефект. Грунт – життєво важлива сполучна ланка між біотичними та абіотичними компонентами екосистеми – грає роль накопичувача води і мінеральних речовин, що циркулюють в екосистемі. В ній мешкає багато популяцій редуцентів, які управляють швидкістю і об’ємом кругообігу поживних речовин. Він створює середовище для існування кореневих систем багатьох популяцій первинних виробників біомаси. Тому найбільш небезпечним для екосистеми є руйнування саме грунту. Виділяють два основних типи порушення грунту в результаті вибуху: переміщення грунту та зміна структури і складу грунту.

Переміщення грунту може бути прямим наслідком вибуху аварійного виробу РКТ на ТК, СК або ж опосередковано викликатись знищенням рослинного покриву, який охороняє грунт від ерозійної дії води і вітру. Верхні, найбільш вразливі шари грунту найбільш важливі для функціонування екосистеми в цілому. Вони складаються з верхніх покривів у вигляді органічних опадів, середнього шару гумусу, що утворюється в результаті мікробіологічного розкладу підстилки, і нижніх шарів з високою пористістю через кореневі системи і діяльність грунтової фауни. Саме ця пористість і пов’язана з нею грудкуватість дають можливість грунту утримувати у відповідності зі своїм хімічним і фізичним складом неорганічні поживні речовини в легкозасвоюваній

формі. Разом з великою вологоутримуючою здатністю підстилки і гумусу це забезпечує інфільтрацію дощової вологи в грунт. Потужність, компоненти і структура цих шарів в різних екосистемах різні. В загальному випадку, чим менша потужність цих шарів, тим більша вразливість екосистеми для ударної хвилі вибуху виробів РКТ. Грунт в даному регіоні завжди знаходиться в стані рівноваги між процесами поверхневої ерозії і грунтоутворення. Тому, якщо наслідки вибуху, який викликає переміщення грунту, уповільнять природні процеси грунтоутворення. то це може привести до підсилення ерозії верхніх шарів грунту, що є класичним механізмом опустелювання. Знищення рослинного покриву на обширних просторах, що знаходяться в безпосередній близькості, також може привести до уповільнення грунтоутворення. Еродовані верхні шари грунту складаються із принесених вітром чи водою різних уламків. Їх скупчення в великих кількостях може створювати загрозу районам, що знаходяться нижче за течією або з підвітряного боку. Так, пилові бурі або замулення водойм можуть бути прикладами поширення наслідків вибуху із одного регіону в інший. Екологічні наслідки переміщення грунту не обмежуються лише руйнуванням верхнього грунтового шару. При певних умовах через утворення воронок може відбуватись порушення горизонту грунтових вод і місцевої системи водостоку. Якщо в щільному підгрунтовому шарі з'являються отвори, грунтова вода може вийти з колишнього горизонту.

Другий вид збитку, який завдається грунту, включає несприятливі зміни в структурі і складі грунту. Підтримка стійкості грунтово-рослинної системи здійснюється в результаті чітко збалансованих обмінних біохімічних процесів. Тому навіть незначні зміни в сорбуючих властивостях грунту або його кислотності можуть порушити рівновагу і зашкодити обміну речовин. Збиток подібного роду скоріше опосередкований, ніж прямий наслідок вибуху: він може бути завданий, наприклад, підсиленим вивітрюванням або іншими подібними хімічними і фізико-хімічними змінами, що відбуваються в результаті збільшення оголеності грунту через утворення воронок або знищення рослинного покриву. Рослинність – основне джерело енергії для екосистеми, первинне джерело всіх ланцюгів живлення. Через неї з навколишнього середовища в екосистему надходять життєво важливі поживні речовини. Рослинність не тільки забезпечує (прямо чи опосередковано) живлення тварин, але й є середовищем мешкання грунтової фауни. Кореневі системи рослин надають грунту механічної

стійкості і структурованості. Рослинність створює мікроклімат, необхідний для нормальної життєдіяльності інших біотичних компонентів в екосистемі. Таким чином, характер екосистеми визначається переважно рослинністю, і її порушення має великий вплив на екосистему в цілому.

Знищення рослинного покриву може відбуватись в результаті безпосередньої дії вибухів, пожеж, розльоту фрагментів конструкції, наслідком переміщення грунту або біоценозної дії на флору. Навіть часткове знищення рослинного покриву може потягти за собою негативні наслідки. Так, транспірація (лат. trans... – префікс, що означає "крізь", "через", "за", "поза", "по той бік"; лат. spiro – дихаю, видихаю; –фізіологічний процес випаровування води живими рослинами) вологи знижується пропорційно збільшенню поверхні пошкодженого листя. При цьому, хоча і може відбутися збільшення випаровування з поверхні грунту, загальні витрати вологи з грунту на випаровування і транспірацію в більшості випадків скорочується. Можливим наслідком цього буде загальна зволоженість грунту і підвищення рівня грунтових вод. Це в свою чергу може несприятливо впливати на середовище мешкання, продуктивність і розклад залишків рослинних видів, пристосованих до колишніх умов меншого зволоження. В районах з достатньою кількістю опадів підвищення вологопоглинаючої здатності грунту приводить до явища, яке часто спостерігається, наприклад, в деяких районах помірного поясу: підсиленого виведення вологи, що надійшла в опадах, з поверхневим або підземним стоком. Тому підсилюється промивання грунту, а з ним і можливість ерозії або вилуговування.

Ці зміни, поряд із зниженням вологості тягнуть за собою також зниження концентрації CO_2 в приземному шарі (яке приводить до уповільнення фотосинтезу), збільшення інсоляції (лат. insolo – виставляю на сонце, –приплив сонячної радіації на земну поверхню) грунту і швидкості вітрів. Збільшуються добові коливання температури в приземному шарі повітря, що надто несприятливо для молодих пагонів рослин і дрібної фауни. Розріджена рослинність знижує здатність грунту відбивати сонячну радіацію. Зміна альбедо (лат. albedo від albus – білий, –відношення кількості променистої енергії Сонця, відбитої від поверхні будь – якого тіла, до кількості енергії, що падає на цю поверхню) поверхні потягне за собою зміну мікроклімату.

Слід відмітити, що наслідки вибухів через аварії виробів РКТ звичайно мають локальний характер, виникають рідко за часом, не повторюються в одному і тому ж районі. В більшості випадків потенціал самовідновлення екосистем дозволяє нейтралізувати наслідки дії вибуху на НПС.

10.3.2. *Дія вибухів на верхні геосфери Землі*

Із збільшенням висоти вибухів виробів РКТ виникає проблема оцінки вибухів на озоносферу.

Як відмічалось в розділі 6, молекула O_3 має невеликий потенціал дисоціації, ~ 1 еВ, що в 5 разів менше потенціалу дисоціації молекули O_2 і тому порівняно легко руйнується при нагріванні повітря.

Для оцінки максимальної кількості термічно зруйнованого озону в атмосфері в результаті вибуху виробу РКТ приймається згідно з роботою [1], що озон повністю руйнується при нагріванні атмосферного повітря вище деякої температури T_d, значення якої складає ~500 К.

Результати оцінки значень маси $M_{O_{3,}d}$ зруйнованого озону і радіуса R_d нагрітої області для різних відносних значень $\overline{E}$ потужності вибуху і двох значень висоти h = 20 км і h = 30 км наведені в табл.10.12.

Таблиця 10.12

Кількість термічно зруйнованого озону і радіуса області руйнування при вибухах різної відносної потужності $\overline{E}$ на різних висотах

	$\overline{E}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	3	5	7	9
h=20 км	$M_{o_{3,d}}$, кг	1,5	3	4,6	6,1	7,6	23	38	53	68
	R_d, м	100	130	150	164	180	250	300	330	370
h=30км	$M_{o_{3,d}}$, кг	3,7	7,5	11	15	19	56	94	130	170

R_d, м	180	230	250	280	300	440	520	600	630

Маса озону $M_{O_3}d$ в атмосферному стовпі відповідного радіусу R_d визначається за допомогою виразу:

$$M_{O_3,d} = \sigma_{O_3} p R_d^2,$$

де σ_{O_3} – маса озону, що приходиться на одиницю поверхні, σ_{O_3} = $(5{,}4...6{,}4)\cdot 10^3$ кг/м^2.

Доля втрат озону $M_{O_3,d} / M_{O_3}$ за цими оцінками в діапазоні $\overline{E}$ = 0,2...9 складає 0,5...2 % , що значно більше порівняно з оцінками розділу 6. Якщо продукти вибуху містять достатню кількість озоноактивних молекул типу NO, NO_2, Cl, руйнуючих озон, то хімічні процеси, які відновлюють озон в атмосфері, будуть проходити із значно меншою швидкістю. В результаті протягом тривалого часу атмосферний озон буде зруйновано.

Вибухи РКТ на висотах іоносфери і верхньої атмосфери приводять в принципі до тих же ефектів, що і при нормальному функціонуванні РКТ. Принципова різниця в тому, що в відповідні рівняння розділу 6 необхідно підставляти, наприклад, більші значення викидів продуктів вибуху на тих чи інших висотах (ці викиди визначаються різницею між загальною масою КРТ і кількістю палива, відпрацьованої в процесі польоту до моменту вибуху). Природно, просторово – часові масштаби виникаючих забруднень виявляються значно більшими.

10.4. Пожежі при аваріях рідинних РН

Пожежі, що виникають при аваріях рідинних РН і/або РБ на землі або в приземних шарах атмосфери, займають особливе місце в проблемі вибухів РКТ. З одного боку, це – яскраво визначений вражаючий фактор, з іншого – фактор дії на НПС. У зв’язку з неможливістю чіткого розділення цих факторів вони розглядаються разом.

Можливими причинами виникнення пожеж в процесі експлуатації виробів РКТ можуть послужити сумісні проливи КРТ, при яких відбувається перемішування пролитих окислювача

і палива та їх парів. Причинами і джерелами сумісних проливів можуть бути:

1) падіння заправленої РН на поверхню землі при пуску;

2) механічне руйнування баків і заправочних магістралей в результаті виникнення несправностей різних систем (наприклад, системи дренажу при подачі палива в баки РН), прогоряння стінок паливного відсіку під дією високотемпературної струмини полум'я;

3) розгерметизація заправленої РН внаслідок механічних дій (ударів, трясінь) тощо.

Пожежа токсичних КРП (наприклад, АТ+НДМГ) часто супроводжується (в результаті неповного горіння), виділенням токсичних продуктів горіння. Однак основним уражаючим фактором для навколишнього середовища і людини дії пожежі є теплове випромінювання.

Як показує досвід, запалювання і самопоширюване горіння газових і парогазових сумішей відбувається лише при певних процентних співвідношеннях між пальним і окислювачем (окислювачем можна вважати і повітряне середовище, оскільки в повітрі міститься близько 21% кисню).При розбавленні реакційно здатної суміші будь – яким компонентом (наприклад, НДМГ) можна досягти такого складу, коли процес горіння стає неможливим. В цьому смислі відрізняють верхні і нижні концентраційні границі горючості – граничний процентний вміст пального в системі, вище і нижче якого горіння неможливе.

Концентраційні границі (КГ) будь – якого пального, в тому числі НДМГ, визначаються залежністю:

$$КГ = 100\ \%\ p_n/p_h,$$

де p_n і p_h – парціальний тиск пального в повітрі і атмосферний тиск відповідно. Очевидно, що найбільше можливе значення КГ при заданій температурі повітря Т(і пального, що знаходиться з ним в контакті) буде складати:

$$КГ = 100\ \%\ p_s(T)/p_h.$$

Тут $p_s(T)$ – тиск насичених парів пального при заданій температурі Т.

Концентраційні границі НДМГ (в об'ємних долях) в повітрі при нормальних умовах складають: нижня – 2,5%, верхня – 84%.

Для практики найбільш важливою є нижня границя, оскільки можна чітко стверджувати, що нижче цієї границі загоряння неможливе, в той час як надгранична “верхня” концентрація в районі проливу пального завжди може зменшитись до небезпечної на деякому віддаленні від місця проливу.

Аналіз показує, що концентраційні границі залежать від зовнішніх параметрів середовища – тиску і температури. З практичної точки зору важливо визначити діапазон найбільш небезпечних в пожежному відношенні експлуатаційних температур пального. Цей діапазон для НДМГ складає – 28 + 57°С.

Опосередкованою мірою температурного діапазону горючості НДМГ є його температура спалаху, тобто така максимальна температура, при якій над його поверхнею утворюється концентрація суміші з повітрям, мінімально достатня для того, щоб при короткочасній дії відкритого полум’я відбувся спалах цієї суміші. Температура спалаху НДМГ складає –18°С (за даним показником НДМГ відноситься до легкозаймистої особливо небезпечної рідини). Якщо температура повітря менша від температури спалаху, то пожежа маловірогідна. З азотистим тетраксидом НДМГ взаємодіє дуже активно, з самозайманням, що має період затримки 0,004с (при 20°С). Пари цих компонентів при достатній їх концентрації також можуть самозайматись уже при звичайних температурах (вище 15°С).

Якщо РН, заправлена рідкими компонентами палива, загоряється на стартовому столі, то в результаті виникаючої пожежі деякі конструкційні матеріали самої РН і корисного навантаження (пластмаси, радіоактивні речовини, які використовуються в енергоустановках, робочі тіла систем енергозабезпечення, терморегулювання та ін.) можуть становити загрозу для НПС і здоров’я обслуговуючого персоналу.

При аварії ракети на рідкому паливі зона пожежі утворюється в міру змішування і згоряння компонентів палива на стартовому столі. Звичайно утворення зони пожежі починається з детонації (вибуху) невеликої кількості палива, яка супроводжується виділенням відповідної енергії. В результаті

розширення продуктів детонації тиск на протязі декількох мілісекунд знижується. Однак паливо продовжує надходити в зону детонації і згоряти там при тиску навколишнього середовища або близькому до нього. Спочатку зона пожежі має півсферичну форму, але, в міру того як на гарячі гази починають діяти виштовхуючі сили, зона пожежі починає підніматись і її форма наближається до сферичної. Після того, як основна частина палива прореагує, швидкість радіального розширення зменшується, основну роль починають грати виштовхуючі сили, причому вони можуть викликати підйом області горіння КРП. Після цього під дією конвективних струмів і сил опору зона пожежі може прийняти грибовидну форму.

На основі результатів теоретичних досліджень теплового випромінювання із зони пожежі, експериментальних даних щодо зони пожежі при аваріях ракет, вибуху рідких палив розроблена математична модель пожежі РН.

По відношенню до зони пожежі при розгляді моделі вводяться наступні припущення:

1) швидкість надходження палива в зону пожежі постійна;

2) повітря не надходить в зону пожежі ні під час протікання реакції, ні в наступний період (розглядається найбільш несприятливий випадок з точки зору теплового режиму);

3) все паливо вступає в хімічну реакцію;

4) зона пожежі є ізотермічною і гомогенною (через високу турбулентність), її форма у всі моменти залишається сферичною;

5) зона пожежі випромінює, як чорне тіло (випромінювання пов’язане з частками вуглецю, які світяться);

6) співвідношення компонентів палива РН „Сатурн – 5” є типовим для більшості ракет на кріогенному рідкому паливі, якщо дане припущення порушується, то необхідно заново виконати розрахунки термохімічної рівноваги і внести в подальший аналіз відповідні поправки;

7) припинення горіння палива і відрив зони пожежі від поверхні землі відбуваються одночасно, таке припущення цілком обґрунтоване, оскільки процес швидкого розширення зони

горіння припиняється з закінченням надходження палива, а підйом зони і її відрив відбуваються зразу після цього.

10.4.1. *Розрахунок динамічних і геометричних характеристик зони пожежі*

Баланс сил, що діють на зону пожежі, включає виштовхуючу силу Fв і силу опору F_R .Для довільного об'єму:

$$F_в = W\alpha, \quad \alpha = f(g, \rho, \Delta\rho, c), \qquad (10.6)$$

де W – маса зони пожежі; *a* – прискорення; g = 9,8м/с^2 – прискорення вільного падіння; ρ – густина продуктів горіння; Δρ – різниця густин газоподібних продуктів згоряння і оточуючого повітря; c – ефективний коефіцієнт маси.

Всередині зони пожежі температура надто висока, тому $\Delta\rho \approx \rho$ і $\alpha \approx g/c$.

Оскільки припускається, що зона горіння палива при аварії являє собою сферу, дотичну до поверхні землі, яка розширюється в радіальному напрямку зі швидкістю V, то по відношенню до оточуючого повітря вершина цієї зони має швидкість 2V, а швидкість її нижньої зони дорівнює нулю. Центр зони рухається вверх із швидкістю V. Такий рух можна описати за допомогою потенціальної функції в сферичній системі координат (R, θ):

$$\theta = (r^2/ R)(dr/d\tau) - ½(r^3/ R^2) dr/d\tau) \cos\Omega,$$

де r – миттєвий радіус зони пожежі; R – радіус – вектор; Ω – кут; τ – час.

Сила опору визначається за допомогою виразу [1]:

$$F_R = (^2/_3)\pi r^3\rho\ [(2/r)(dr/d\tau)^2 - (d^2r/d\tau^2)].$$

Прирівнюючи цю силу до виштовхуючої сили (10.7), яку можна подати у вигляді $F_B = 4/3\ \pi r^3\rho g$, і спрощуючи отримане рівняння, можна записати:

$$d^2r/d\tau^2 - (2/r)(dr/d\tau)^2 + 2g = 0.$$

Із рішення $r = (g/_3)\ \tau^2$ витікає, що прискорення:

$$\alpha = d^2r/ d\tau^2 = (^2/_3)g. \qquad (10.7)$$

Співставляючи цей вираз з рівнянням (10.6) можна знайти ефективний коефіцієнт маси c = 3/2.

Якщо для сферичної зони пожежі в момент відриву від поверхні землі середня густина газів складає 0,0881 кг/м^3 , то радіус в момент припинення горіння палива (маса зони пожежі дорівнює повній масі палива W_B) буде складати:

$$r_B = (\tfrac{3}{4}\pi r)^{1/3} W_B^{1/3} = 1{,}38 W_B^{1/3} \qquad (10.8)$$

Цей вираз цілком задовільно узгоджується з опублікованими емпіричними співвідношеннями.

В міру розгортання зони пожежі її центр ваги за час горіння τ_B піднімається від землі на висоту r_B. Переміщення центру ваги зони описується виразом $H = \alpha\tau^2/2$, оскільки $c = 3/2$, $\alpha = (2/3)g$. Якщо $\tau = \tau_B$, то $H = r_B$. Звідси $r_B = (g/3) \times \tau_B^2$, а із співвідношення (10.8) витікає, що:

$$\tau_B = 0{,}642 W_B^{1/6} \approx (2/3) W_B^{1/6} \qquad (10.9)$$

Цей вираз також цілком задовільно узгоджується з опублікованими експериментальними даними.

В припущенні про постійність швидкості надходження палива з врахуванням виразу (10.9) можна записати:

$$F_R = W/r = W_B/\tau_B = 3/2 W_B^{5/6}. \qquad (10.10)$$

За допомогою цього виразу можна визначити <u>радіус зони пожежі</u> у вигляді функції часу:

$$r = (3R\tau/4\pi\rho)^{1/3} = (9W_B^{5/6}/4\pi\rho)^{1/3}\tau^{1/3} = c\tau^{1/3} \qquad (10.11)$$

Порівняльні дані про швидкість росту зони пожежі при постійному F_R з фактичними даними, отриманими при аварії РН „Атлас” та в експериментах за програмою „Піро – 302”, свідчать про справедливість припущення про постійність швидкості надходження палива в зону пожежі.

Якщо W_B менше критичного значення Wкр , то зона пожежі не буде відриватись від поверхні землі, оскільки при зменшенні W_B відношення теплових втрат до кількості тепла, що вивільнюється, збільшується.

У всіх експериментах „Піро„ з масою палива 11350 кг спостерігається відрив зони пожежі. При меншій кількості палива (W_B = 91 кг) відриву зони пожежі, як правило, не

спостерігалось і залишки палива догоряли на землі. Значення Wкр може бути приблизно визначена наступним чином. Відношення втрат тепла із зони пожежі до тепловиділення при горінні палива:

$$\eta = \langle qA \rangle (\tau_B / W_B)^{\Delta h} \text{ реакції}, \qquad (10.12)$$

де A – миттєва площа поверхні зони пожежі; h реакції –ентальпія (грец.” ентальпіо” – нагріваю, – термодинамічна функція, що дорівнює сумі внутрішньої енергії і добутку об’єму на тиск) реакції; q – тепловий потік із зони пожежі.

Початковий тепловий потік із зони пожежі при температурі 3000 К складає ~1100 ккал/м^{2}с. Це значення зменшується при зменшенні температури зони пожежі, причому зменшення тим помітніше, чим менша маса палива. Якщо припустити, що в співвідношенні (10.12) середній тепловий потік q = 550 ккал/м^{2}с,то середню площу поверхні пожежі можна визначити за допомогою виразу:

$$A = \left(1/\phi_в\right) \int_0^{\phi B} 4\pi\rho^2 d\tau$$

Замінивши тут r його виразом (10.11), після інтегрування можна записати:

$$A = (^{12}/_5)\pi r_B^2 \qquad (10.13)$$

Підстановка замість r_B виразу (10.8) дає:

$$A = (^{12}/_5)\pi(1{,}38 W_B^{1/3})^2. \qquad (10.14)$$

Нарешті, підставивши в формулу (10.12) вираз (10.13) і q = 550 ккал/м^{2}с, можна отримати формулу для визначення η:

$$\eta = 2{,}10 / W_B^{1/6}. \qquad (10.15)$$

де W_B – кг. Можна вважати , що Wкр буде відповідати умові $\eta \approx 1$ (тобто втрати тепла мають такий же порядок, що і наявна енергія).Тоді Wкр$^{1/6}$= 2,1 або Wкр = 87,5 кг. Цей результат відповідає даним спостережень за проектом „Піро”, згідно з яким при масі палива 91кг зона пожежі відривається від поверхні землі.

Зразу після закінчення підведення палива зона пожежі відривається від землі і піднімається вверх. Однак газовий стовп, який з’єднує зону пожежі з землею , може поглинути об’єкт , внаслідок чого діючий на нього тепловий потік буде перевищувати аналогічний потік від залишкового полум’я; з

іншого боку, тверді частки можуть бути захоплені висхідним потоком і підняті над землею, що може привести до інтенсифікації теплопередачі (в зоні пожежі після відриву від землі).

11. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЛІКВІДАЦІЇ ЗАСТАРІЛОЇ РКТ

Проблема знищення та утилізації застарілої та скорочуваної РКТ, особливо твердопаливних ракет, в даний час є надзвичайно актуальною. Масштабність проблеми визначається зростаючим із року в рік виробництвом ракетно-космічної техніки на основі твердих ракетних палив, пороху і вибухових систем. При цьому багатократно зростають ризик аварій виробів з простроченими термінами зберігання і витрати на обслуговування складованих матеріалів.

Крім того, у зв’язку з міжнародними угодами щодо скорочення озброєнь, надзвичайно актуальною стала проблема масової ліквідації військових ракет середнього та малого радіусу дії та ефективної утилізації виробів. Ракетне паливо з часом розтріскується, змінює свої механічні та термодинамічні властивості. Тому ракети мають обмежений термін зберігання в місцях базування і на складах.

Проблема знищення твердопаливних ракет або їх зарядів періодично виникає перед державами, які експлуатують такі вироби.

11.1. Можливі способи знищення РКТ

Згідно з роботою [60], ліквідація (знищення) – це комплексна цільова дія на об’єкт (його перетворення), яка приводить до

незворотних змін в його структурі і властивостях та припинення внаслідок цього виконання ним цільового призначення.

Утилізація – це повторне корисне використання виробів РКТ, його складових частин або матеріалів. Ліквідація (знищення) – більш широке поняття, ніж утилізація, оскільки може частково її включати. Ліквідація виробу може здійснюватись і як безпосереднє знищення, і як ліквідація з подальшою чи паралельною частковою або повною його утилізацією. При цьому продукти часткової або повної утилізації можуть бути повторно використані або як сировинні інгредієнти, або як складова частина нового виробу при переробці їх в іншу корисну продукцію.

Стосовно озброєнь і військової техніки, утилізація формулюється як комплекс організаційно-технічних, економічних та інших заходів, технологічних процесів, що забезпечують демілітаризацію, диверсифікацію і переробку скорочених за умовами міжнародних договорів морально і фізично застарілих зразків озброєння і військової техніки, які знімаються з озброєння і відпрацювали свій ресурс, з метою їх економічно доцільного і ефективного використання в інтересах національної економіки і оборонного комплексу.

Демілітаризація – це надання виробу не бойового стану, після якого він не може бути використаний в військових цілях; диверсифікація – надання виробу або його частинам додаткових функцій після доопрацювання для виконання військово-технічних і наукових програм. Однією з вимог до виробів РКТ повинна бути вимога надання їм таких властивостей і якостей, які б дозволили економічно доцільно утилізувати і диверсифікувати ці вироби.

Великий досвід масової ліквідації ракет середньої і малої дальності методом підриву має Росія. Цей метод на даний час визнано не придатним як з економічних, так і екологічних причин, однак аналіз його наслідків корисний для осмислення проблеми в цілому

Наслідком масового знищення ракет на полігонах Капустін Яр і Сариозек стало обширне забруднення природних середовищ в місцях ліквідації і збиток від безцільно втраченого енергетичного потенціалу висококалорійного палива.

Проведені ліквідації ракет показали, що проблема знищення та утилізації виробів РКТ тісно пов’язана з забезпеченням їх

життєвого циклу та екологічною безпекою. Значимість цієї проблеми зумовлюється не тільки величезною кількістю токсичних речовин, що виділяються в оточуючий простір, а й необхідністю корисно використати запасену енергію, закладену в складних композиційних матеріалах палив.

Проблема утилізації та ліквідації виробів РКТ в масовому масштабі виникла лише в останні десятиріччя і стала для суспільства дещо несподіваною. Це пов'язано з переважно закритим характером робіт в цій області. Екологічно чистих, вибузобезпечних і економічно доцільних методів утилізації та ліквідації виробів РКТ на основі твердих ракетних палив в даний час практично не існує в жодній країні.

Реальними на сьогодні є такі способи ліквідації ракет і ракетних палив: підриви і механічні руйнування; випалювання зарядів; руйнування за допомогою хімічних реагентів; затоплення. Інші способи нездійсненні з економічних чи екологічних причин або організаційно надзвичайно складні.

В виробах широкого спектру задач використовуються різні палива, що відрізняються типом і фізичними характеристиками. Всі палива можна умовно поділити на декілька груп в залежності від хімічного складу, призначення, маси і габаритів виробу.

До першої групи палив можна віднести артилерійські порохи і піротехнічні суміші. До другої – заряди твердив палив різних допоміжних двигунів, порохові акумулятори тиску, двигуни закрутки, розведення і т.п. Їх маси варіюються в широкому діапазоні – від десятків грамів до сотень кілограмів.

Третя група твердих ракетних палив включає заряди стартових і маршових двигунів тактичних та оперативно-тактичних систем з масою до 1т. Четверта група палив – це заряди систем середньої дальності з масами від 1т до 3т. П'ята група включає заряди найбільш крупних виробів РКТ: заряди маршових ступенів стратегічних ракет, бустери з масою від декількох до десятків тонн і т.п.

Для твердих ракетних палив, що входять в першу і другу групи за поданою класифікацією, в даний час вирішені принципові питання переробки застарілих модифікацій в нові типи порохів і ракетних палив. Зокрема, зворотний брак, склад якого відхиляється від норми в допустимих межах, знову включається в технологічний

процес. Ракетні палива інших груп більш складно використати в різних об'єктах господарського призначення, тому вони переважно знищуються.

Підриви як метод ліквідації ракет знайшли застосування при знищенні ракет середньої і малої дальності. Суть цього способу – в ініціюванні вибуху ракетного палива виробу закріпленою на ньому вибуховою речовиною. Вибухівка закріплюється або на корпусі виробу, або на транспортно-пусковому контейнері. При підриві виникають такі несприятливі для НПС фактори:

1) забруднення атмосферного повітря в шарі висотою до 3-4 км протяжністю до декількох десятків кілометрів;

2) забруднення токсичними речовинами грунту, поверхневих вод і рослинності;

3) потенціальна небезпека накопичення шкідливих речовин в питній воді, в продуктах рослинного і тваринного походження;

4) забруднення околиць місць підриву незгорілим ракетним паливом;

5) руйнівна дія повітряної і сейсмічних ракетних ударних хвиль, яка прослідковується до відстаней в декілька десятків кілометрів.

При ліквідації виробів РКТ підривом потрібні додаткові роботи для збору і допалювання залишків палив, які входять в комплектацію виробів. Крім того, при вибуху утворюється стійка аерозольна хмара з продуктів неповного згоряння палива, вихідних його компонентів і дрібнодисперсних часток від зруйнованого корпуса виробу. Така аерозольна хмара, як і при стартах РН (розділ 4), може переміщуватися на великі відстані і забруднювати обширні території, приводити до випадання кислотних дощів і осідання токсичного пилу.

Як позитивний ефект цього способу ліквідації ракет можна відмітити його бистроту, очевидність і контрольованість ліквідації, непотрібність будівництва і зведення спеціальних стендів або споруд.

До механічних способів руйнування твердопаливних зарядів відносяться руйнування виробів за допомогою водяної струмини (гідроудар), а також метод механічної дезінтеграції палива в стружку з подальшою регенерацією і виділенням вихідних компонентів. Дослідження цих способів показали, що при їх реалізації не виключається вірогідність вибухових ефектів. Вони

вимагають вдосконалення і можуть бути використані в перспективі для вирішення часткових задач ліквідації окремих виробів.

Спалювання зарядів – найбільш поширений в даний час метод знищення твердих палив. Поряд з відкритим спалюванням широко застосовується спалювання в різних ємкостях і середовищах, а також допалювання проміжних продуктів при використанні комбінованих методів ліквідації. При стендовому пропалюванні або спалюванні на відкритих бетонних площадках заходи щодо зменшення забруднення навколишнього середовища не передбачаються, що приводить до помітної дії на НПС. Тому метод відкритого спалювання не може бути рекомендованим для серійного знищення виробів. Екологічно більш чистий метод спалювання зарядів в закритих приміщеннях, розроблений на основі зменшення швидкості вигоряння палива при застосуванні води.

Існує проект затоплення виробів РКТ, що підлягають ліквідації, в морях та океанах. На протязі всієї історії людства морські і океанські води є природним звалищем для видалення відходів, які утворюються в результаті діяльності людини. Тому, коли виникло питання про знищення ракет, цей варіант розглядався одним із перших. Безумовно, метод знищення ракет затопленням в морях і океанах найбільш радикальний, але не завжди безсумнівний і контрольований за наслідками. Контрольоване затоплення антропогенних відходів існує багато десятиліть.

Наприклад, практика видалення радіоактивних речовин низької активності здійснюється з 1946 р. в більше, ніж в 50 місцях північної частини Атлантичного і Тихого океанів. Радіоактивні відходи перед скидом поміщаються в металічні контейнери, викладені бетоном або бітумом. В рамках агентства з ядерної енергії в 1977 р. прийнята Програма координованих досліджень і спостережень за навколишнім середовищем з метою контролю за дільницями скиду в море. Висновки, які можна зробити на основі цих спостережень, свідчать про неперевищення рівнів вмісту радіонуклідів поблизу місць захоронення порівняно з рівнями радіоактивності від випадінь в результаті випробувань ядерної зброї.

Повітряне середовище при затопленнях антропогенних речовин, за твердженням авторів подібних проектів, залишається чистою, а водне – забруднюється мінімально, оскільки в воді процес розкладу палива і корпусу ракет розтягнеться на тривалий час. Крім того, компоненти ракетних палив, що складаються з нітратів і перхлоратів амонію, горючого зв’язуючого і

порошкоподібних металів, в першу чергу алюмінію, при розкладі не дадуть токсичних речовин. Деякі деталі процесу розкладу і гідролізу твердих палив і корпусів виробів в морській воді вимагають подальшого теоретичного та експериментального опрацювання.

Однак можна стверджувати, що затоплення ракет порівняно з їх підривом або випалюванням приводить до незрівнянно меншого екологічного збитку і до менших екологічних наслідків для НПС. Такий спосіб ліквідації доцільно рекомендувати при підготовці проектів майбутніх угод (зокрема, договору про 50%-не скорочення міжконтинентальних балістичних ракет). Недоліками цього проекту є складність транспортування виробів з багатократними перевантаженнями їх на транспорт різних типів, підвищена небезпека аварій, а також відсутність експериментів з розкладу палив в морській воді.

Розроблювані методи розмивання зарядів хімічними реагентами надзвичайно трудоємкі і вимагають великих затрат, однак вони швидко вдосконалюються, підвищується їх ефективність, знижуються питомі енерговитрати, і тому, мабуть, їм належить майбутнє. Ці методи, враховуючи зміну агрегатного стану палива, об’єднані в категорію зрідження, що означає сукупність способів видалення палива із виробу шляхом переведення його в рідкий стан.

Середовищами, придатними для зрідження, в даний час прийняті водні розчини та органічні розчинники, пара, вода в критичному стані, рідкий аміак, зріджені гази. При використанні методу зрідження зводиться до мінімуму забруднення НПС і досягається повна утилізація компонентів ракетного палива. До різновидностей зрідження можна віднести і метод змочування твердопаливних зарядів прісною водою при нормальних умовах. В спеціальних бетонних водоймах під відкритим небом заряди, занурені в воду поступово „розчиняються”. Процес цей надто повільний, але перевагами його є простота і низька вартість. „Розсіл”, що утворюються при цьому, використовується для видалення з нього цінних вихідних реагентів.

В даний час велика кількість некондиційного палива спалюється на відкритому повітрі при заводах-виробниках. Це приводить до значних додаткових витрат і забруднює природне середовище поблизу виробництв. Великої уваги заслуговують

методи утилізації, які використовують енергетичні можливості самих палив для виробництва цінних хімічних продуктів, що мають специфічні або унікальні властивості (наприклад, надтверді матеріали типу корунду або алмаза).

Іншим методом використання енергетичних можливостей твердих ракетних палив, які мають детонаційні властивості, є їх застосування при виготовленні штучних алмазів.

Очевидно, що перспективні методи знищення твердого ракетного палива повинні бути дешевими, простими в реалізації і повинні мінімально забруднювати НПС. Одним з таких методів є використання кріогенних рідин для видалення та ущільнення палива під дією спрямованих на нього низькотемпературних струмин (наприклад, рідкого азоту). При низьких температурах паливо стає нечутливим до ініціюючих дій різного роду. Крім того, немає потреби в великих об'ємах води, необхідних в багатьох інших гідравлічних методах. Відомий термокріогенний метод руйнування паливних зарядів, який використовує поперемінне їх нагрівання та охолодження. В результаті, в заряді виникають високі температури, які приводять до механічного руйнування виробу.

Перспективним є також метод возгонки зв'язуючого палива в вакуумі під дією інтенсивної радіації. На паливо подається інтенсивний потік світової енергії. Його поверхня нагрівається до температури возгонки зв'язуючого. Насоси безперервно відкачують газоподібні продукти розкладу палива: аміак, хлор, водень, окис вуглецю, азот, кисень та інші речовини. Цей метод відносно безпечний, оскільки в умовах розрідження вакуумної камери відсутня паро- димо- газова фаза хімічного перетворення палива, і тому воно не може горіти.

Іншим перспективним методом ліквідації твердих ракетних палив є їх використання для „годівлі" мікроорганізмів. Штами бактерій знищують паливо в герметичних ємкостях, де підтримуються оптимальні для їх життєдіяльності умови. На виході з установки отримують цінні органічні речовини в газовій і рідкій фазах. Метод руйнування бактеріями перлхлорату амонію перевірений на зразках в лабораторних умовах. Однак не вирішена проблема регенерації бактерій, що „відпрацювали".

Крім названих вище способів ліквідації та утилізації виробів на основі твердих ракетних палив активно розглядаються можливості і перспективи використання інших нетрадиційних методів та їх комбінацій, які сполучають окремі технології або послідовно виконувані операції. Частина з цих методів – селективне руйнування наповнювача, руйнування ультразвуком, біохімічний розклад, піроліз в вакуумі, обробка в пароподібному середовищі, хімічне руйнування – випробувана на експериментальних зразках, але не пройшла екологічної апробації. Можливість її застосування в натурних умовах вимагає серйозних наукових і конструкторських розробок. Найбільш відпрацьованими методами ліквідації виробів РКТ в нинішніх умовах залишаються підриви і спалювання.

Досвід ракет середньої і малої дальності (РСМД) на полігонах Капустін Яр і Сариозек і подальші дослідження в цьому напрямі привели до висновку, що методи і технології знищення і утилізації повинні відповідати сукупності вимог, в першу чергу – вимозі екологічної чистоти (безпеки). Екологічний збиток при ліквідаціях РСМД і спалюваннях твердопаливних зарядів свідчить про недопустимість методів підриву і спалювання у відкритій атмосфері.

До числа неприйнятних методів ліквідації слід віднести і інші методи, які шкідливо діють на НПС навіть в допустимих санітарно-гігієнічних концентраціях. Технологічні процеси при знищенні виробів повинні виключати можливість випадкових викидів токсичних і забруднюючих речовин в атмосферу, воду або на грунт.

В даний час на підприємствах-виробниках твердих ракетних палив знищення забракованої продукції відбувається переважно шляхом її спалювання на розташованих на території заводу необладнаних площадках, в кращому випадку на спеціалізованих стендах або в забутих шахтах. Ці методи можна назвати екологічно чистими лише умовно, оскільки неможливість повної нейтралізації токсичних продуктів уже закладена в самій технології. Крім того, спалювання на стендах потенційно небезпечне не тільки в екологічному відношенні. Стендові випробовування ракетних двигунів зарядами палив, які мають значний запас ресурсу службової придатності, не завжди закінчуються благополучно. Іноді в роботі двигунів проявляються аномальні відхилення, які приводять

до вибухоподібного руйнування виробів, а також самих стендів. Несанкціонований вибух багатотонного заряду може привести до катастрофічних наслідків не тільки для стенда, але і для прилягаючого до нього ареалу. Основними вимогами до технологій ліквідації виробів, які використовують тверді ракетні палива, є їх екологічна чистота, вибухонебезпечність, висока продуктивність та економічна сприйнятливість.

При експертизі технологій недотримання хоча б однієї з цих вимог повинно виключати дану технологію із подальшого розгляду і реалізації.

Повністю проблема знищення та утилізації твердих ракетних палив може бути вирішена, якщо будуть створені екологічно чисті і безпечні в експлуатації палива, тобто, палива, які легко вилучаються із виробів і не забруднюють при згорянні природне середовище. Вирішення цих задач в даний час полягає у використанні безхлорних окислювачів, модифікованих нітратів амонію, гексогену, октогену та активного зв'язуючого.

Найбільш перспективним і раціональним шляхом використання твердопаливних ракет, призначених до ліквідації, є їх комерційні і наукові пуски.

Проблема ліквідації РКТ на основі рідких ракетних палив, а також їх компонентів стоїть не менш гостро, ніж для твердопаливних виробів. Небезпека забруднення НПС набуває особливої актуальності в умовах зняття з озброєння ракетних комплексів на рідкому паливі і передачі позиційних районів органам місцевої влади.

Складність тривалого зберігання рідких палив в наявних резервуарах пов'язана з їх обмеженою ємкістю і старінням. Будівництво спеціальних ємкостей для палив, що вивільняються, важкий тягар для економіки, а безальтернативне знищення сотень тисяч тонн цінних хімічних продуктів є недоцільним. Основними сучасними рідкими паливами є окислювачі на основі азотної кислоти і чотирьохокису азоту, а також вуглеводневі гідразинові палива (розділ 2). В процесі зберігання та експлуатації вони піддаються складним хімічним перетворенням, які включають окислення і розклад окремих компонентів, поглинання атмосферної вологи, взаємодію з конструкційними матеріалами. Вихідні і

проміжні продукти рідких палив є токсичними і екологічно небезпечними.

Найбільш доцільним використанням рідких палив, що втратили свої фізичні і термодинамічні властивості через тривале зберігання і тому не можуть бути застосованими за прямим призначенням для запусків РН, є їх застосування як сировинної основи для господарської продукції. Для утилізації палив необхідно вирішити екологічні, технологічні та організаційні задачі, пов'язані із специфікою їх токсичної дії на людей і природне середовище, а також із потенціальною вибухо-пожежонебезпекою.

В нинішніх умовах, практично не забруднюючи НПС, з окислювача на основі чотирьохокису азоту виробляється азотна кислота, яка потім використовується при виробництві азотних добрив. Гідразинові палива широко використовуються як вихідна сировина для отримання полімерів, фарб, добавок в рецептури гумових сумішей для покращення їх механічних і теплофізичних властивостей, для виготовлення гербіцидів, медичних препаратів, поверхнево активних речовин в нафтодобувній галузі і в багатьох інших виробництвах.

Ліквідація рідких палив виправдана лише тоді, коли з будь-яких причин неможлива їх утилізація. Її мета – трансформація високотоксичних палив в слаботоксичні або екологічно чисті речовини. До технологій, які використовуються для цього, висуваються вимоги повноти знешкодження компонентів палив та економічності [60]. Основним методом знищення є їх спалювання в спеціальних топках при температурі біля 1400° С; перспективним – метод знешкодження в газотурбінних установках, в яких відбувається процес взаємодії палив з ракетними окислювачами.

Нейтралізація дренажних газів і промислових стоків, що містять компоненти ракетних палив, становить самостійну проблему, яка вирішується методами каталітичного і термічного окислення, абсорбції, адсорбції і кріогеники [60]. В стадії розробки метод нейтралізації промислових стоків при використанні мікроорганізмів; впроваджений радіаційно-хімічний метод, оснований на дії потоку прискорених електронів на водні системи.

На протязі 1987-1991 р. у відповідності з договором між СССР і США було знищено методом підриву біля двох тисяч РСМД. Спеціалісти-фізики використали ці підриви як унікальний

експеримент. Знання метеорологічної обстановки під час ліквідації і даних про об'єкти, які підриваються, дозволило в натурних умовах вивчити виникнення, трансформацію, підйом в атмосфері і розсіювання забруднюючих сумішей.

Для реєстрації розмірів викидів, динамічних характеристик пило- газової хмари і клубів газоподібних речовин, а також їх рухів в вітровому супутньому потоці використовувались дальноміри, кіноапарати з фіксованою частотою зйомки, фотоапарати. Розміщення кіноапаратури було таким, щоб можна було достатньо детально і в повному об'ємі зафіксувати весь процес формування викиду, включаючи розліт і падіння фрагментів об'єктів, які підриваються, шматків грунту і незгорілого палива, підйом і трансформацію клубів.

При проведенні крупномасштабного знищення великого класу РСМД методом підриву необхідно було вирішити ряд технічних та організаційних задач, з яких найбільш важливими виявились:

1) вибір місця проведення підривів;

2) забезпечення безпечної доставки ракет до площадок знищення і рекультивація площадок для повторного їх використання;

3) забезпечення безпеки персоналу і місцевого населення від механічної і токсичної дії вибухів;

4) вибір часу підривів, виходячи із конкретної метеобстановки безпосередньо перед їх проведенням;

5) вибір схем підривів на окремих робочих місцях, які забезпечують безпеку та ефективність проведення робіт;

6) забезпечення надійного контролю за результатами підривів спеціальними спостерігачами;

7) забезпечення вимірювань метеорологічних характеристик атмосфери.

Штатні вироби, призначені для знищення, доставлялись на полігони залізничним транспортом, перевозились в спеціальні сховища, де з них демонтувались прилади, потім спеціальними автомобілями транспортувались до місця підривів. На площадках підривів ракети вкладались на поверхню землі щільно одна до одної і обкладались тротиловими шашками. Вибір тротилу, як ініціюючої вибухової речовини, його маса і схема розміщення на виробі здійснювались з врахуванням надійного забезпечення руйнування корпусу ракети, дроблення твердопаливних зарядів і

появи їх часткової детонації. Підрив виробів здійснювався бойовим підрозділом із захищеного підземного бункера, розташованого від місця ліквідації на відстані 1,3 км. Витрати на один підрив вибухових речовин варіювався від 400 кг до 1,5 т тротилових шашок. Такі маси вибухових речовин забезпечували надійне руйнування призначених для знищення виробів як одиночних, так і в зв'язках з декількох штук. Варіювались також схеми укладки ракет на підривному полі і схеми його рекультивації після робіт.

Частота підривів при штатній роботі складала 5 разів на тиждень/на 4 полях підриву, розташованих на спеціально підготовлених площадках. Кількість одночасно знищуваних виробів у зв'язках варіювалась від 1 до 5.

При підривах після сліпучого спалаху спостерігалось формування складних викидів у вигляді твердих продуктів вибуху (часток і шматків роздробленого грунту і твердого палива, а також фрагментів зруйнованого виробу), високотемпературного тепло-газового викиду детонуючої частини зарядів і аерозольного приземного викиду, яке виникає від змикання димових треків часток роздробленого ракетного палива, догораючих в польоті і на поверхні землі.

В табл.11.1 наводяться розрахункові дані про геометричні і масові характеристики воронок і викидів при підривах ракет різних типів і різних їх комплектаціях в зв'язках, які задовільно узгоджуються з проведеними вимірюваннями [61].

Таблиця 11.1

Геометричні і масові характеристики ракет і викидів
при ліквідаціях твердопаливних виробів в різних комплектаціях

Геометричні та масові характеристики ракет і викидів при ліквідації твердопаливних виробів в різних комплектаціях									
Тип ракет	РСД-10			ОТР-22			ОТР-23		
Кількість одночасно знищуваних ракет, шт.	1	2	3	1	3	5	1	4	5
Маса, яка знищується, т	32	64	96	7	21	35	3	12	15
Глибина воронки, м	2,3	2,9	3,3	1,2	1,7	1,9	0,9	1,4	1,5
Діаметр воронки, м	11	13,5	15	5,6	7,7	9,1	4,3	6,6	7
Висота гребеня воронки, м	0,6	0,7	0,8	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,4
Діаметр гребеня воронки, м	22	27	31	11	15	18	9	13	14
Діаметр вала, м	16	20	23	8,4	11	14	6	10	11
Об’єм воронки, $м^3$	111	206	301	15	39	61	6,5	24	29
Об’єм грунту в викиді, $м^3$	54	102	147	7	19	30	3	11	14
Об’єм вала, $м^3$	57	104	154	8	20	32	3,4	12	15
Маса викинутого з воронки грунту, т	277	515	752	37	98	153	16	60	77
Маса грунту в валі, т	142	260	385	19	50	80	8,5	31	37
Маса грунту в викиді, т	135	255	367	17,5	48	73	7,8	29	34

Аналіз отриманих кінофотоматеріалів дозволив встановити закономірності виникнення і поширення в атмосфері вибухових викидів, часові і просторові масштаби цих процесів. В перші моменти після вибуху роздроблений грунт із вибухової порожнини виноситься в область детонації і піднімається над поверхнею у вигляді цільної газогрунтової хмари. В міру розширення високотемпературної речовини хмари і втягнення в неї оточуючого повітря за час ~1с формується первинний вибуховий викид, розміри якого досягають в поперечнику десятків метрів. Цей розмір є початковим радіусом сферичного перегрітого газового клуба, який покидає первинний викид під дією сил спливання.

Одночасно з відривом сферичного клуба відбувається виліт під дією сил інерції за межі первинного викиду твердої його фази – часток і шматків незгорілого палива, грунту і фрагментів конструкції виробу. Більша частина палива, яка не приймає участі в дистанційному горінні, запалюється в первинному викиді і догоряє за його межами – або в польоті, або при великих розмірах шматків на поверхні землі після приземлення.

Димові треки горючих шматків і часток палива зливаючись, утворюють приземний синювато-білий димовий викид з поперечником до 3 км.

Одночасно з розлітанням і догорянням ракетного палива відбувається спалювання пило- газового клуба. При часі t= 30 с після вибуху спостерігається чітка диференціація викиду в верхній пило-газовий і нижній димовий. До моменту часу t=1хв вітровий потік витягує і деформує викиди. З'єднуюча їх „ніжка", що складається, в основному, із твердофазних продуктів вибуху і часток грунті різної дисперсності, практично не змінює товщини. До моменту t=2 хв верхній викид уже сформований у вигляді компактного чітко помітного на небесному фоні бугристого об'єму. Нижній димовий викид до цього часу з початково півсферичного перетворюється в дещо витягнуте за вітром. Видимі розміри нижнього викиду залишаються майже незмінними в діапазоні 2хв < t < 6 хв. При t>9 хв „ніжка" практично зникає за рахунок взаємної дифузії верхнього і нижнього викидів, однак через висотний вітровий розворот ареали випадінь з них твердої фази мають різну спрямованість. Атмосферна дифузія сильно розмиває видимі контури викидів, і уже при t>13-15 хв вони

сприймаються спостерігачем як нечіткі пірчасті хмари. Ще через кілька хвилин їх практично не можна відрізнити на фоні природної хмарності.

Високотемпературний пило-газовий викид у вигляді інтенсивно турбулізованого клуба піднімається в атмосфері до великих висот, перетворюючись у витягнуту за вітром сіро-білясту хмару. Тверда фаза вибуху розлітається на відстані до 1,5 км. Наприклад, при ліквідації зв'язки чотирьох ОТР-22 через 3-5 хв хмара за вимірюваннями з гелікоптера мала наступні розміри: нижня кромка 0,9-1,5 км, верхня – 1,9-3 км, ширина 0,8-1 км. Висотна частина хмари з'єднувалася з землею „ніжкою", яка являє собою випадаючі з хмари тверді частки в широкому діапазоні розмірів. Діаметр „ніжки" складав приблизно чверть ширини хмари, вона була добре помітна на протязі 3-5 хв після підриву. Розсіювання видимої частини хмари стало помітним через 12-15 хв і практично закінчилось через 20-40 хв після вибуху.

В результаті підриву зв'язки з 4 ракет ОТР-22 (маса кожної ракети 7т) в атмосферу викидається біля 5,8 т хлористого водню, 4т окислів амонію, 2,6т окислів азоту, 13т вуглекислого газу, 0,2т іона хлорної кислоти, кілька тонн хлору, десятки кілограмів частково роздроблених і розпилених фрагментів скловолокна, а також інші забруднюючі і токсичні речовини, в тому числі перлхлорат амонію і діоксини.

Крім того , в повітря піднімається маса грунту – біля 235 т, в якому біля 15т алюмінію грунтового походження і 2т алюмінію, які містяться в паливі, а також біля 2т фрагментів роздроблених корпусів виробів на місці відриву виникла воронка діаметром 20м, глибиною біля 2м. Значна частина піднятого вибухом грунту у вигляді крупної фракції осідає в безпосередній близькості від місця вибуху. Десятки тонн дрібних фракційних часток підхоплюються вітром, переносяться і осідають в секторі переважного напряму вітру на відстанях до 5 км від місця вибуху. Нарешті, деяка найбільш дрібнофракційна частина грунту у вигляді невагомої суміші переноситься вітром на дуже великі відстані (до декількох сотень кілометрів).

За даними спостережень з випадінням крупних часток із хмар підривів ракет та вимірювань з гелікоптера, основний вклад в крупнодисперсну фазу викиду на відстані R<1км від епіцентру вибуху дають частки, в основному, грунтового походження

діаметром понад 1000мкм, на R- 2-5км – частки діаметром 100-500мкм. Основна маса часток діаметром < 100 мкм випадає вибухової хмари на відстані R> 5км. В безпосередній близькості від місця вибуху і для часток більшого розміру вимірювання не проводились.

Нестача літературних даних щодо вимірювань дисперсних вибухових часток пояснюється складністю аналізу та ідентифікації розроблених часток грунту, що не відрізняються від природних, які знаходились на поверхні землі до вибуху. В цьому плані частки і шматки палива, що загорілись при вибуху, дають можливість проведення кількох оцінок. За даними експериментальних підривів, маса окремих догоряючих на землі шматків палива досягала 50 кг, сильне випадіння осколків масою від 1г до 70г спостерігалось на відстанях від 100 до 300 м від епіцентру, найбільший розліт осколків (R>1.5) спостерігався у напрямку вітру. Основна кількість зруйнованих фрагментів виробів розмірами 1,5х0,5х0,2м виявлявся в радіусі R= 20-40 м.

Робоча площадка після підриву перевірялась на безпеку спеціалістами-підривниками, після чого допускались члени оглядової групи. За точним виконанням умов ліквідації РСМД передбачено спостереження американськими експертами із спеціальних спостережних пунктів. Потім зони вибухів досліджувались на вміст токсичних речовин за допомогою вимірювачів, які доставлялись на гелікоптері через кілька хвилин після вибуху.

11.2. Забруднення поверхні землі і приземного атмосферного шару продуктами підривів РКТ

При підривах РКТ великого збитку НПС завдає тверда фаза, що розноситься вибухом і вітром. Її складають забруднювачі у вигляді аерозолів і роздроблених часток з корпусів виробів, їх захисних склопластикових покрить, часток грунту з осадженими на їх поверхні токсичними речовинами.

Найбільш дрібні частки через великий аеродинамічний опір під дією сили ваги переходять в режим падіння і повертаються у джерело викиду. За його межами поверхні землі досягають частки

радіусом більше 500мкм. Із збільшенням розмірів часток збільшується поздовжня координата їх приземлення [61].

Найбільш крупні шматки грунту і фрагменти можуть розлітатись на багато сотень метрів, призводячи до помітного забруднення поверхні землі. Супутній вітровий потік багатократно збільшує дальність польоту часток, формуючи чітко виражений ареал випадінь.

Забруднення приземної атмосфери газоподібними та аерозольними продуктами при підриві виробів починається з формування первинного пило-газового викиду, який за час =1с досягає в поперечнику десятків метрів. Цей розмір є початковим радіусом еквівалентного перегрітого газового клуба, який покидає первинний викид під дією сил плавучості. Спливання пило-газового клуба відбувається одночасно з розльотом і догорянням палива. При t >3-5 хв підйом клуба суттєво уповільнюється і спостерігається чітка диференціація викиду на верхній пило-газовий і нижній димовий.

Виникнення великого об'єму димових аерозольних часток після догорання ракетного роздробленого палива приводить до помітного збільшення рівня забрудненості місця підриву і підвітряних територій. Розміри димових треків визначаються балістичними характеристиками шматків палива – насамперед їх масою, формою і питомою вагою. Якщо розмір часток менше 0,001м, то на їх траєкторні характеристики суттєво впливає супутній вітровий потік. До моменту закінчення горіння і дифузного розмивання димових треків формується деформоване вітром майже півсферичне утворення, радіус якого визначається найбільш динамічними(і тому не дуже крупними) шматками роздрібленого палива.

Аналіз фотоматеріалів підривів ракет показав, що дифузія окремих треків часток палива, які розлітаються і горять в польоті, починається через 5-7 с після вибуху; при t>30 с вони змикаються в єдиний димовий об'єм. Повне перемішування диму в приземному шарі наступає при t= 40-50с, початкові швидкості вильоту твердої фази складають сотні метрів в секунду, радіус її розльоту до півтора кілометра. Осереднена за об'ємом температура приземного димового

джерела забруднень перевищує температуру навколишнього середовища на десяті долі градуса, тому його спливання практично відсутнє. При t>50с спостерігається зниження верхніх границь викиду за рахунок гравітаційного осідання аерозольних димових часток.

Максимальні значення основних токсикантів в викидах підриву однієї ракети РСД-10 наведені в таблиці 11.2. При складанні таблиці припускалось, що всі речовини першого ступеня повністю згоряють.

Як свідчать дані таблиці 11.2, основна маса забруднюючих речовин локалізована в приземному викиді. В висотному клубі, що має переважно детонаційне походження, токсикантів значно менше. Концентрації забруднюючих речовин в димовому приземному викиді в сотні разів переважають допустимі рівні і складають в залежності від долі палива, що прореагувало, 10-40 мг/м^3 для хлористого водню.

Газоаерозольні продукти підривів зносяться вітром на багато десятків кілометрів, зберігаючи високі значення концентрацій токсикантів і забруднюючи обширні території. Зменшення їх концентрацій за рахунок дифузії в навколишній простір і осадження під дією сили ваги відбувається порівняно повільно. Тому приземний димовий викид при ліквідаціях ракет є найбільш небезпечним джерелом забруднення приземного повітряного шару і поверхні землі.

Таблиця 11.2

Хімічні речовини в атмосферних викидах після підриву однієї ракети РСД – 10

Речовина	Хімічна формула	Агрегатний стан	Маса токсиканта в викиді, т	
			висотний клуб	приземний димовий
Хлористий водень	HCl	Газ	1,8	4,2
Вуглекислий газ	CO_2	–	4,24	9,9
Окис азоту	NO	–	0,024	0,056
Алюміній і його окисли	Al_xO_y	аерозоль	3,24	7,56
Хлорна кислота	$HClO_4$	–	0,2	0,47

Хлор	Cl_2	газ	1,5	3,5
Аміак	NH_4	–	0,3	0,7

11.3. Забруднення навколишнього середовища при різних способах ліквідації РКТ

Поряд з ліквідацією ракет методом підриву в період експериментального дослідження виникаючих викидів були проведені спробні ліквідації твердопаливних зарядів досліджуваних виробів методом спалювання на полігоні Капустін Яр. Вироби були виконані у вигляді циліндричних зарядів сумішевого твердого палива довжиною от 2 до 4 м із зовнішнім діаметром біля 1,5 м і внутрішнім діаметром від 0,2 до 0,7 м. Маса їх складала біля кількох тон. Вироби укладались на поверхню землі перпендикулярно напряму приземного вітру і підпалювались з обох торців. Продукти горіння витікали із торцевих отворів у вигляді високотемпературної (до 3000 К) газоаерозольної суміші зі швидкістю біля 1000 м/с і піднімались в атмосферу у вигляді срібно-сірої хмари до висот в декілька сотень метрів.

Як показало зондування хмари з гелікоптера, основні інгредієнти в ній такі ж, як і при підривах. Дещо більше виявлено фосгену – продукту взаємодії хлору і окису вуглецю. Високі рівні цього токсиканту виявлялись також поблизу площадок спалювання відходів палива підприємствами-виробниками.

Вимірювання показали, що біля 75% маси згорілого заряду приходилось на такі інгредієнти: хлористий водень, алюміній, азот, окис вуглецю і окис азоту, іон хлорної кислоти. Крім того, в склад продуктів згоряння входила вода, перхлорати, хлор, двоокис сірки, вуглекислий газ, водень, залізо, кисень, сірка і деякі інші речовини. Пил у викиді був в незначних концентраціях. Маса інгредієнтів, що утворювались при згорянні, вимірювалась в залежності від виду виробів.

В результаті відбору і аналізу проб повітря, грунту, снігу, випадінь на планшети в зоні проходження хмари продуктів згоряння на відстанях від 0,8 до 2,0 км від місця спалювання встановлено, що основні токсичні компоненти продуктів згоряння

в повітрі не перевищують гранично допустимі рівні. Після спалювання біля 20 т твердого ракетного палива в верхньому шарі грунту вміст хлорид-іона підвищується в 30 разів в зоні горіння і в 3 рази на R<400 м від площадки спалювання. Змін токсичності і біологічних властивостей грунтів не спостерігалось. Добавка алюмінію в грунт в результаті спалювання палива виявилась зовсім малою порівняно з природним фоновим вмістом алюмінію в грунтах регіону.

Аналіз результатів санітарно-гігієнічних досліджень місць ліквідації ракет різними способами показав надзвичайно високу актуальність проблеми охорони навколишнього середовища в таких регіонах.

Тверді палива і порохи, що містяться в виробах ракетної техніки, як правило, складні композиційні продукти, при горінні або детонації яких виникають високотоксичні речовини. Під час детонаційного горіння відбувається розклад і випаровування органічних сполук компонентів цих сумішей. Газофазні перехресні реакції всіх цих речовин в кінці кінців можуть служити джерелом утворення цілого ряду нових сполук, більшість яких токсичні.

Повний склад продуктів окислення ракетних палив суттєво залежить від швидкостей протікання окремих реакцій, які, в свою чергу, надто чутливі до способу ліквідації виробів. Зокрема, одним із важливих токсикантів при ліквідаціях виробів на основі палив, які містять алюміній і його окисли. Наприклад, при підривах двох ракет РСД-10 в атмосферу надходить 21,6 т сполук алюмінію, із яких 11,4 т приходиться на алюміній, ГДК в повітрі для алюмінію як шкідливої речовини приймається на рівні ГДК для окису алюмінію. Значна кількість алюмінію і його окислів потрапляє в атмосферу з ґрунтовими частками при підриві часток на поверхні.

Ліквідація ракет середньої і малої дальності на полігонах Капустін Яр і Сариозек показали, що підрив найбільш зримий, перевірений і високопродуктивний метод. Однак він порівняно дорогий і, що особливо важливо, в найбільшій мірі забруднюючий НПС поблизу місця проведення робіт і на великому віддалені від нього. Так, за 5 місяців 1988 р. на полігоні Капустін Яр знищено 29 ракет РСД-10. В результаті в атмосферу викинуто біля 818 т

токсичних речовин, в тому числі 174 т хлористого водню, 313 т окису алюмінію, 19 т хлорної кислоти, по декілька тонн хлору, окису азоту і окису вуглецю, а також сотні кілограмів діоксинів, скловолоконного пилу та інших токсикантів.

Стійкі хімічні речовини, що утворюються в результаті підриву твердопаливних ракет (сполуки алюмінію і хлору, діоксини), будуть накопичуватись і мігрувати за екологічними ланками із одного середовища до іншого, потрапляючи в кінці кінців в організм людини, являючись причиною шкідливого впливу на її здоров'я. Так, після підриву ракет на полігоні Капустін Яр хлорна кислота не розпадалась більше 120 днів в грунті в концентраціях до 10 мг/кг, накопичувалась і тривало зберігалась в рослинах в концентраціях до 3 мг/кг; відмічались міграції цієї речовини в грунті. Підвищений вміст хлорної кислоти в продуктах харчування і в воді може стати причиною ендокринних захворювань. Тривале надходження алюмінію, вміст якого в ракетному паливі може перевищувати 20%, в організм спричинює захворювання легенів, порушень центральної нервової системи.

Таким чином, санітарно-гігієнічна оцінка об'єктів навколишнього середовища у співставленні концентрацій токсикантів з рівнями ГДК, а також шляхом порівняння рівнів концентрацій в підвітряному і надвітряному напрямах свідчить про їх забруднення основними токсичними компонентами продуктів підриву або згоряння – в першу чергу хлористим воднем, сполуками алюмінію і хлорної кислоти. Виявлені в атмосферному повітрі населених пунктів на відстанях 50-60 км максимальні концентрації HCl і окислів алюмінію перевищували ГДК цих речовин в 3 і більше разів.

Сумарне надходження окислів алюмінію, перхлоратів та інших забруднюючих речовин в поверхневий шар грунту не перевищує ~1% вмісту цих речовин в шарі.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок про можливе помітне погіршення екологічної обстановки не тільки в місцях підриву РКТ, але і на значних віддаленнях від місць ліквідації та утилізації ракет.

Для кількісних оцінок впливу різних способів ліквідації та утилізації РКТ різних типів, а також впливу запуску ракет (який можна розглядати як метод ліквідації шляхом спалювання палива) на НПС необхідно проведення додаткових теоретичних та експериментальних досліджень.

12. НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧНІ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І КОНТРОЛЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РКТ

Структура життєвого циклу виробів РКТ включає такі етапи:

1) створення (аванпроект, ескізний проект, розробка робочої документації, підготовка і освоєння серійного виробництва);
2) виробництво;
3) експлуатація;
4) утилізація.

Сукупність етапів життєвого циклу РКТ, в основному, співпадає з поняттям „космічної діяльності”.

12.1. Розробка лімітів на природокористування

Найбільш ефективним методом зменшення негативного впливу на НПС є застосування в господарській діяльності

безвідходних технологій з повним використанням усіх компонентів сировини. Однак розробити подібні технології в нинішніх умовах надзвичайно складно. Тому основним напрямом охорони НПС є нормування кількості викидів, стоків та відходів і контроль за ними в будь-якій галузі виробництва, в тому числі і в космічній діяльності.

В основі нормування лежить встановлення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин в атмосферному повітрі, воді, грунті та харчових продуктах. При встановленні ГДК приймають найнижчий рівень забруднення, який ґрунтується на санітарно-гігієнічних нормах. ГДК забрудника – це такий його максимальний вміст у природному середовищі((воді, грунті, повітрі) або продукті, який не знижує працездатності та самопочуття людини, не шкодить її здоров"ю в разі постійного контакту, а також не викликає небажаних (негативних) наслідків у нащадків. ГДК виражають у міліграмах на метр кубічний(мг/м^3) – у повітрі, на дециметр кубічний(мг/дм^3) – у воді та у міліграмах на кілограм(мг/кг) – у грунті та продуктах харчування.

Для кожного середовища визначено різні види ГДК. Для повітряного середовища: ГДКр.з. – робочої зони, за яку вважають простір виробничого приміщення заввишки до 2м над підлогою, де знаходяться працюючі (рівень вдихання); ГДКм.р. – максимальна разова, при вдиханні впродовж 20хв не повинна спричинювати негативних наслідків в організмі людини; ГДКс.д. – середньодобова, не повинна негативно впливати в разі необмеженого тривалого (впродовж років) вдихання. Для водного середовища: ГДКв. – у воді господарсько-питного й культурно-побутового призначення; ГДКв.р.– у водоймах рибогосподарського водокористування. Для грунту: ГДКгр. – в одному шарі грунту, не повинна негативно впливати не тільки на здоров'я людини, а й на самоочисну здатність грунту. Для продуктів харчування – ГДКпр. або інакше допустима залишкова кількість (ДЗК) речовини, що не чинить шкідливого впливу на здоров"я людини.

У разі наявності у повітрі або воді кількох домішок враховують їх сумарну шкідливу дію за формулою:

$$C_1/ГДК_1 + C_2/ГДК_2 +...+ C_n /ГДК_n \leq 1,$$

де C_1, C_2, C_n – концентрації забрудників, мг/м^3; $ГДК_1$, $ГДК_2$, $ГДК_n$ – ГДК забрудників, мг/м^3.

Ліміти на природокористування встановлюються природокористувачам спеціально уповноваженими державними органами в області охорони НПС, виходячи з необхідності постійного досягнення нормативних об'ємів використання (вилучення) природних ресурсів, гранично допустимих викидів (ГДВ) в атмосферу або гранично допустимих скидів (ГДС) у водойму забруднювачів і нормативних об'ємів розміщення відходів виробництва з врахуванням екологічної обстановки в регіоні. Термін досягнення нормативних об"ємів природокористування і ліміти в роках встановлюються у відповідності з затвердженими показниками державних і регіональних екологічних програм.

Стосовно створюваних об"єктів і виробів РКТ основними видами лімітів є ГДВ шкідливих речовин в атмосферу, ГДС на рельєф місцевості і в стічні води, а також ліміти розміщення відходів (ЛРВ), які розраховуються на основі ГДК забруднюючих речовин в різних середовищах.

Норматив ГДВ – це обмежуючий об'єм (кількість) забруднюючої речовини за одиницю часу, перевищення якого приводить до несприятливих наслідків в НПС або небезпечне для здоров"я людини (викид від джерела забруднення приводить до перевищення ГДК в НПС).

Норматив ГДС – це маса речовини в стічних водах, максимально допустима до відведення в установленому режимі в даному пункті за одиницю часу з метою забезпечення норм якості в контрольному пункті.

Порядок розробки і погодження, структура і зміст нормативів ГДВ, ГДС і ЛВР, зокрема в космічній діяльності Російської Федерації, визначені в нормативно-методичному документі „Порядок розробки і затвердження екологічних нормативів викидів і скидів забруднюючих речовин в НПС, лімітів використання природних ресурсів, розміщення відходів" (затверджений Постановою Уряду РФ від 3.08.1992р. №545).

Значення ГДК забруднюючих речовин при розробці проектів указаних вище лімітів на природокористування наводяться в таких державних нормативах (ГН- в нормативних документах РФ) :

1) ГН 2.1.6.696-98 „Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест” та „Ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест”;

2) ГН 2.1.5.690-98 „Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования” та „Ориентировочно допустимые уровни воздействия (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования”;

3) „Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве”, Міністерство охорони здоров”я СРСР, 1991.

ГДК та орієнтовно безпечні рівні дії (ОБУВ) забруднюючих речовин, які відносяться до РКТ, наведені в табл.12.1.

Для РКТ проводиться також нормування дії на НПС електромагнітних випромінювань та акустичних шумів.

Визначення гранично допустимих рівнів (ГДР) електромагнітних випромінювань здійснюється у відповідності з державними стандартами і правилами:

1.ГОСТ 12.1.006-84.ССБТ. „Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля”.

Таблиця 12.1

Гранично допустимі концентрації та орієнтовно безпечні рівні впливу

Речовина	Гранично допустима максимальна разова (середньо-добова) концентрація в повітрі населених пунктів, мг/м^3	Гранично допустима концентрація у воді водойм господарсько-побутового (рибогосподарського) призначення, мг/л	Гранично допустима концентрація в грунті, мг/кг
Гідразин несиметричний диметилгідразин (НДМГ)	0,001 (0,001)	0,01(гідразин) 0,02(НДМГ) (0,0005)	ОБУВ=0,1
Тетраксид азоту (АТ)	0,085 (0,04)	45(в перерахунку на NO_3) (–)	–
Оксид азоту	0.6 (0.06)	-	–
Азотна кислота	0,4 (0,15)	40,0 (–)	–
Солі азотної кислоти	–	45,0(40,0) – за нітрат іоном 3,3(0,08) – за нітритіоном	130 –за нітритіоном
Аміак	0,2 (0,04)	10 (в перерахунку на азот) 2,0 (–)	–
Гас	– (5,0) ГДК$_{рз}$=300,0	0,02 – синтин 0,3 – РГ-1 0,1 – авіаційний гас	–

Продовження табл.

Речовина	Гранично допустима максимальна разова (середньо-добова) концентрація в повітрі населених пунктів, мг/м^3	Гранично допустима концентрація у воді водойм господарсько-побутового (рибогосподарського) призначення, мг/л	Гранично допустима концентрація в грунті, мг/кг
Нітрозодиметиламін	– (0,0001)	0,01 (–)	–
Тетраметилтетразін	0,005 (0,005)	0,1 (–)	–
Диметиламін	0,005 (0,005)	0,1 (0,005)	–
Формальдегід	0,035 (0,003)	0,05 (0,25)	7,0
Триетиламін	0,14 (0,14)	2,0 (–)	–
Ксилидін	$ГДК_{рз}$=3,0	0,5	–
Хлор	0,01(0,03)	–	–
Хлористий водень	0,2 (0,2)	300 (–)	–
Миш’яковистий водень	0,06 (0,002)	–	–
Сурм’янистий водень	$ГДК_{рз}$=0,5	–	–

Продовження табл.

Речовина	Гранично допустима максимальна разова (середньо-добова) концентрація в повітрі населених пунктів, мг/м^3	Гранично допустима концентрація у воді водойм господарсько-побутового (рибогосподарського) призначення, мг/л	Гранично допустима концентрація в грунті, мг/кг
Сірководень	0,008 (0,008)	–	–
Перекис водню	ОБУВ=0,02	0,1	–
Фтористий водень	0,02 (0,005)	1,5 (–)	–
Синильна кислота (ціаністий водень)	– (0,01)	0,1 (–)	–
Оксид вуглецю	5,0 (3,0)	–	–
Фреон-12 (дихлордифторметан)	40 (4,0)	–	–
Фреон-22 (дифторхлорметан)	100 (10)	–	–
Хладон 13В1 (трифторбромметан)	$ГДК_{рз}$=1000	–	–
Хладон 114В2 (тетрафтордибром)	$ГДК_{рз}$=1000	–	–

Закінчення табл. 12.1

Речовина	Гранично допустима максимальна разова (середньо-добова) концентрація в повітрі населених пунктів, мг/м^3	Гранично допустима концентрація у воді водойм господарсько-побутового (рибогосподарського) призначення, мг/л	Гранично допустима концентрація в грунті, мг/кг
Озон	0,16 (0,03)	–	–
Брометил	ОБУВ=0,05	0,04 (–)	–
Оксид марганцю	0,01 (0,001)	10,0 (–)	–
Ксилол	0,2 (0,2)	0,05 (–)	–
Толуол	0,6 (0,6)	0,05 (–)	–
Сірчана кислота	0,3 (0,1)	pH=6,5-8,5 (–)	–
Їдкі луги (їдкий натрій)	$ГДК_{рз}$=0,5	–	–
Оксид алюмінію	$ГДК_{рз}$=2,0	–	–
Нетоксичний пил	$ГДК_{рз}$=10,0	-	–
Свинець	– (0,0003)	0,03 (–)	

Допустима напруженість електромагнітного поля в діапазонах: 0.06...3МГц – 500В/м, 50А/м; 3...30МГц – 300В/м; 30...300МГц – 80В/м.

ГДР густини потоку енергії (ГПЕ) в діапазоні частот 300МГц...300ГГц слід визначати, виходячи з допустимого енергетичного навантаження (ЕН) і часу дії за формулою:

$$ГПЕ_{ГД} = K\frac{ЕН_{ГД}}{T},$$

де $ГПЕ_{ГД}$ – гранично допустимий рівень густини потоку енергії, Вт/м^2; $ЕН_{ГД}$ – гранично допустима величина енергетичного навантаження, яка дорівнює 2Вт*год/м^2; К – коефіцієнт послаблення біологічної ефективності, що дорівнює: 1- для всіх випадків, крім антен, що обертаються і сканують, 10- для випадків опромінювання від антен, що обертаються і сканують.

У всіх випадках максимальне значення $ГПЕ_{ГД}$ не повинно перевищувати 10 Вт/м^2.

2. ГОСТ 12.1.002-84.ССБТ „Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах”.

ГДР напруженості діючого електромагнітного поля складає 25 кВ/м.

3. ГОСТ 12.1.045-84. ССБТ. „Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля”.

Допустима напруженість електростатичного поля $Е_д$ (кВ/м) визначається за допомогою виразу :

$$Е_д \leq 60/\overline{VT}$$

де Т- час в годинах від 1 до 9.

Якщо більше, $Е_д \leq 20$ кВ/м.

4. „Правила захисту населення від електромагнітних випромінювань”.

Для житлової забудови допустима напруженість електричного поля в діапазонах : 0,06...3 МГц – 16 В/м ; 3...300 МГц – 5 В/м; 30...300 МГц – 3 В/м.

В діапазоні 300МГц...300 ГГц ГДР ГПЕ = $5\cdot10^{-2}$Вт/м^2.

Для житлових приміщень допустима напруженість електричного поля в діапазонах 0,06...3 МГц – 1 В/м; 3...30 МГц – 0.4 В/м; 30...300 МГц – 0.2 В/м.

В діапазоні 300 МГц...300 ГГц ГДР ГПЕ = $0.5 \cdot 10^{-2}$ Вт/м^2.

Для електричного поля, що створюється пристроями електропередач змінного струму промислової частоти встановлені такі ГДР напруженості електричного поля: для території житлової забудови – 1кВ/м; для житлових приміщень – 0.5кВ/м.

Гранично допустимі рівні звукового тиску і шуму визначаються у відповідності з державними та галузевими стандартами :

1. ГОСТ 12.1.003-83.ССТБ. „Шум. Общие требования безопасности”.

2. ОСТ 54 72 001-78. ССТБ. „Шум. Общие требования безопасности труда на эксплуатационных предприяпиях ГА”.

3. ОСТ 54 72 005- 84. ССТБ. „Шум. Общие требования безопасности труда на заводах гражданской авиации”.

Для льотно-випробувальних станцій, ангарів, ковальських дільниць, місць стоянок літаків гранично допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот (Гц) складають: 63 Гц- 99дБ, 125 Гц- 92 дБ, 250 Гц- 86 дБ, 500 Гц- 83дБ, 1000 Гц- 80дБ, 2000 Гц- 78 дБ, 4000 Гц- 76 дБ, 8000 Гц- 74 дБ.

Допустимий рівень звука (шуму) складає 85дБА (для визначення допустимого рівня шуму слід до допустимого рівня звукового тиску додати 5).

12.2. Забезпечення екологічної безпеки космічної діяльності

У відповідності з законом РФ „Про космічну діяльність”, іншими федеральними законами і нормативно-правовими актами РФ, космічна діяльність повинна здійснюватись з врахуванням забезпечення рівня допустимих антропогенних навантажень на НПС і на НКП. Цей закон забороняє :

1) виведення на орбіту навколо Землі або розміщення в космосі будь-яким іншим чином ядерної зброї чи інших видів зброї масового ураження;

2) випробовування ядерної зброї і будь-яких інших видів зброї масового ураження в космосі;

3) використання космічних об’єктів та іншої космічної техніки для дії на НПС з військовими та іншими ворожими цілями;

4) шкідливе забруднення космосу, яке приводить до несприятливих змін НПС, в тому числі навмисна ліквідація космічних об'єктів в космосі.

Основоположними документами, регулюючими природоохоронну діяльність в РФ і в Україні, є Закон РФ „Про охорону оточуючого природного середовища" від 19.12.91 та Закон України „Про охорону НПС" від 25.06.91, які містять звід правил охорони природного середовища і є базовими для інших законодавчих актів.

До ракетно-космічної техніки безпосереднє відношення мають положення Закону РФ щодо попередження (регулювання) хімічного забруднення навколишнього середовища (компонентами ракетних палив та інших речовин, які використовуються в РКТ). Зокрема забороняється застосування токсичних хімічних препаратів, що не піддаються розпаду, активно діючих на організм людини і на НПС. Використання нових хімічних речовин, здатних прямо чи опосередковано діяти на здоров"я людини, допускається лише з дозволу МОЗ РФ.

Згідно із ст.4 Закону, „охороні від забруднення, псування, пошкодження на території РФ підлягають: природні екологічні системи, озоновий шар атмосфери, земля, її надра, поверхневі і підземні води, атмосферне повітря, ліси...". Таким чином, як охоронні природні середовища Законом не розглядаються ближній космос, верхні шари атмосфери, питання впливу РКТ на клімат і т.д.

Категорія „екологічна безпека" закріплена Конституціями РФ (ст.72) і України (ст.16), міжнародними актами, Федеральним конституційним законом „Про уряд РФ" (ст.18), законами „Про безпеку" (ст.13), „Про охорону оточуючого природного середовища", іншими правовими і нормативними актами; про екологічну безпеку було сказано в „Посланні Президента РФ Федеральним зборам РФ" (1994).

Рекомендаційний законодавчий акт „Про принципи екологічної безпеки в державах співдружності", прийнятий постановою Міжпарламентської Асамблеї держав-учасниць Співдружності Незалежних Держав від 29.12.92 і схвалений Державною Думою РФ (постанова від 20.04.94 №96), визначає екобезпеку, як стан захищеності особи, суспільства і держави від наслідків антропогенної дії на навколишнє середовище, а також стихійних лих і катастроф (ст.1).

Якщо існують подібні законодавчі міжнародні акти з охорони НПС, то перевага віддається міжнародному екологічному праву.

В табл.12.2 в стиснутому вигляді подані можливі обмеження, які накладаються міжнародно-правовими актами на космічну діяльність.

Таблиця 12.2

Обмеження, які накладаються міжнародно-правовими актами на космічну дяяльність

Найменування міжнародно-правового акту, час та місце прийняття, дані про ратифікацію Росією	Основні положення	Можливі обмеження, які накладються на космічну діяльність
Венська конвенція про охорону озонового шару, 1985 р., Вена, Австрія. Ратифікована Росією в 1988 р. Монреальський протокол по речовинам, які руйнують озоновий шар, 1987 р., Монреаль, Франція. Ратифіковані Росією. Лондонські доповнення до Монреальського протоколу, 1990 р., Лондон, Великобританія. Ратифіковані Росією.	Співробітництво у галузі вивчення речовин і процесів, які впливають на зміни в озоновому шарі; створення альтернативних речовин і технологій; спостереження за станом озонового шару; співробітництво у галузі розробки та прийняття заходів, що контролюють діяльність, яка призводить до несприятливих наслідків у озоновому шарі; обмін науковою, технічною, соціально-економічною, комерційною та юридичною інформацією; співробітництво у галузі розробки і передачі технологій та наукових знань. Заходи з регулювання споживання, виробництва та імпорту (експорту) озоноруйнуючих речовин.	Обмеження та виключення використання у системах пожежовибухопопередження, поже-жегасіння, терморегуляції, термостатування, та ін. агрегатах і системах озоноруйнуючих речовин, зокрема, хлор-, фтор-вуглеводнів (фре-онів) та бром- фторвуглеводнів (галонів)
Копенгагенське доповнення до Монреальського	Копенгагенське доповнення до Монреальського протоколу 1992 р. вимагало до 1996 р. повного	

Продовження таблиці 12.2

Найменування міжнародно-правового акту, час та місце прийняття, дані про ратифікацію Росією	Основні положення	Можливі обмеження, які накладаються на космічну діяльність
протоколу, 1992 р., Копенгаген, Данія. Росією не ратифіковано.	виключення із виробництва і споживання фреонів і галонів	
Конвенція про біологічну різноманітність, 1992 р., Ріо-де-Жанейро, Бразілія. Ратифікована Росією в 1995 р.	Об’ява принципу національного права на власні природні ресурси з одночасним дотриманням прав інших держав; співробітництво у галузі збереження біологічної різноманітності у регіонах, які не підпадають під національну юрисдикцію; відповідальність держав за формування та реалізацію національних стратегій, планів і програм по збереженню та раціональному використанню біологічної різноманітності	Обмеження на місцях будівництва космодромів, відчуження РП ЧВ РН та проход-ження траси виведення
Конвенція про трансграничний вплив забруднення повітря на великі відстані, 1979 р., Женева, Швейцарія. Росією	Обмін інформацією, консультаціями, резуль-татами наукових досліджень і моніторингу, політики та стратегічних рішень; співробітництво у проведенні наукових досліджень (чинні та перспективні технології із	Обмеження на атмосферні викиди, в тому числі, аварійні, забруднюючих речовин, які утворюються під час експлуатації РКТ

Найменування міжнародно-правового акту, час та місце прийняття, дані про ратифікацію Росією	Основні положення	Можливі обмеження, які накладються на космічну діяльність
ратифікована в 1983 р.	зниження викидів, контролю та визначенню об'єму емісій, вплив поліотантів на здоров'я людини та оточуюче середовище, освіту), заснування виконуючого органу.	

Закінчення табл. 12.2

Найменування міжнародно-правового акту, час та місце прийняття, дані про ратифікацію Росією	Основні положення	Можливі обмеження, які накладються на космічну діяльність
Конвенція з охорони та використання транспортних водостоків та міжнародних озер, 1992 р., Хельсинки, Фінляндія. Ратифікована Росією в 1992 р.	Обов'язки учасників у відношенні попередження, контролю та скорочення забруднення трансграничних вод; дотримання принципу справедливості в їх використанні; обмеження розповсюдження забруднення; використання принципу "забруднювач сплачує" як захід для попередження забруднення; співробітництво у галузі досліджень та розвитку; введення моніторингу	Обмеження на скиди забруднених стоків у трансграничні водостоки та міжнародні озера
Конвенція з оцінки впливу на оточуюче середо-вище в транспорт-ному контексті, 1991 р., Єсто, Фінляндія. Ратифікована Росією в 1991 р.	Прийняття стратегічних, юридичних та адміністративних заходів з контролю за негативним впливом; введення системи повідомлень про негативні впливи; проведення досліджень з покращання методів ОДОС	Обмеження на вплив на НПС, які мають трансграничний характер, які розповсюджуються по території декількох держав

Примітка. З метою забезпечення виконання обов'язків РФ з Венської конвенції про охорону озонового шару та Монреальского протоколу з речовин, які руйнують озоновий шар, урядом РФ була прийнята постанова від 5.05.1999 р. №490 "Об усилении государственного регулирования производства и потребления озоноразрушающих веществ в РФ". Відповідно до цієї постанови, з 1 серпня 1999 р. виробництво на території РФ озоноруйнуючих речовин здійснюється за квотами, які визначаються Державним комітетом РФ з охорони НПС разом з Міністерством економіки РФ. При цьому виробництво озоноруйнуючих речовин з 1 липня 2000 р. здійснюється тільки у тих випадках, коли ці речовини використовуються

виключно для виробництва. З 1 липня 2000р. створення на території РФ підприємств з виробництва озоноруйнуючих речовин заборонено.

12.3. Проблеми екологічної безпеки РКТ на етапі створення

На етапі створення РКТ обов'язкове застосування основних правових та організаційно –управлінських механізмів охорони НПС:

1) апріорна оцінка дії на НПС будівництва наземних споруд та експлуатації виробів РКТ;
2) екологічна експертиза проектних матеріалів;
3) укладання угоди і отримання ліцензії на комплексне природокористування;
4) розробка лімітів на природокористування і визначення рівнів гранично допустимої дії на НПС (розділ 12.1);
5) декларування безпеки об'єктів РКТ;
6) екологічна сертифікація РКТ;
7) екологічна паспортизація.

Апріорна оцінка дії російської РКТ на НПС здійснюється у відповідності з Федеральним законом "Про екологічну експертизу" від 23.11.95.№ 174-ф3, який вимагає подання в Державну екологічну експертизу серед інших типових матеріалів діяльності, яка підлягає екологічній експертизі щодо оцінки дії на оточуюче середовище. Загальна процедура оцінки дії на оточуюче середовище проектної документації РКТ регламентується " Положенням про оцінку дії на оточуюче середовище (ОДОС) в РФ" (Наказ Мінприроди РФ №222 від 18.07.1994р.).

Особливості ОДОС будівництва наземних споруд для експлуатації виробів РКТ регламентуються будівельними нормами СП 11-101-95 "Порядок разработки, согласования, утверждения, состав обоснований инвестицый в строительство предприятий, зданий и сооружений" (затверджений Мінбудом РФ 30.06.95. №18-63).

ОДОС виробів РКТ проводиться у відповідності з "Макетом матеріалів щодо оцінки впливу ракетно-космічої діяльності полігону (космодрому) на НПС ", погодженим з Держкомекологією РФ, №13-31/860 від 22.12.1997р.

Згідно з "Положенням про ОДОС" (1994р.) ця оцінка в обов'язковому порядку повинна проводитись при підготовці грунтовної документації на будівництво космодромів, обєктів і

полігонів для випробувань, утилізації, знищення і захоронення ракетних палив (Додаток до “ Положення... “ 18).

Згаданий “Макет матеріалів...” визначає і вміст матеріалів, які подаються в складі простої документації на державну екологічну експертизу (ДЕЕ), щодо оцінки дії на НПС ракетно-космічної діяльності космодрому і космічно-ракетного космодрому.

Матеріали ОДОС космодрому повинні включати:

1) загальну інформацію про космодром (природна і соціально-економічна характеристика території, фоновий стан космодромів природного середовища, соціально-економічна інфраструктура території космодрому);

2) джерела і фактори дії на НПС (РН, виробничі і комунально-побутові об’єкти);

3) оцінку впливу ракетно-космічної діяльності космодрому на НПС (дія на нижні шари атмосфери, дія на озоновий шар та іоносферу, дія на водні ресурси, дія на грунт, флору і фауну);

4) оцінка на оточуюче середовище можливих аварійних ситуацій;

5) еколого-соціально-економічну оцінку ракетно-космічної діяльності космодрому;

6) оцінку екологічного ризику;

7) заходи і технічні рішення щодо охорони НПС;

8) екологічний моніторинг території космодрому.

Матеріали ОДОС космічного ракетного комплексу (КРК) повинний мати таку структуру:

1. Загальна інформація про КРК (основні технічні характеристики РН, склад і основні характеристики наземного комплексу забезпечення пуску, природна і соціальна економічна характеристика території полігону і районів падіння частин ракети, що відділяються, фоновий стан компонентів природного середовища, соціально-економічна інфраструктура території).

2. Оцінка дії пусків ракет на оточуюче середовище (фактори дії, дія на оточуюче середовище при підготовці до пуску, склад палив і продуктів згоряння двигунів ракети, утворення кислотних дощів, випадання продуктів згорання на поверхню грунту, дія продуктів згоряння на озоновий шар атмосфери та іоносфери, акустична, теплова і механічна дія).

3. Оцінка дії падіння частин, що відділяються, ракети на НПС в районі розташування, районі падіння частин, що відділяються (хімічне забруднення, акустична дія).

4. Дія аварійних ситуацій на НПС.

5. Аналіз наслідків дії пусків ракет на НПС і населення.

6. Оцінка екологічного ризику.

7. Заходи і технічні рішення щодо охорони природного середовища космодрому, районів падіння частин, що відділяються, і траси польоту ракети.

8. Екологічний моніторинг території космодрому і районів падіння.

Результатом проведення ОДОС є висновок замовника про допустимість впливу наміченої ним діяльності на НПС.

Екологічна експертиза проектної документації на об'єкти і вироби РКТ здійснюються у відповідності з Законом РФ "Про охорону оточуючого природного середовища" і Федеральним Законом "Про екологічну експертизу" №174-Ф3 від23.11.95.р.

Закон "Про охорону оточуючого природного середовища" (ст.36) декларує обов'язковість державної екологічної експертизи (ДЕЕ). Фінансування розробки і створення об'єктів і виробів РКТ здійснюється лише при наявності позитивного висновку ДЕЕ.

Згідно з Федеральним законом " Положення про порядок проведення ДЕЕ" (№698 від 11.06.1996 р.) до складу документів, що подаються на ДЕЕ, повинні входити:

1) матеріали оцінки дії об'єкта або виробу РКТ на НПС;

2) позитивні висновки і документи погодження органів нагляду і контролю та органів місцевого самоврядування;

3) матеріали громадських слухань про створення проекту або виробу РКТ.

Зразковий порядок проходження ДЕЕ показаний на рис.12.1.

Угода про комплексне природокористування передбачає умови і порядок використання природних ресурсів, права і обов'язки природокористувача, розміри платежів за використання природних ресурсів, відповідальність сторін і відшкодування збитків, порядок розв'язання спорів.

Ліцензія на комплексне природокористування видається природокористувачеві спеціально уповноваженими на це державними органами РФ в області охорони НПС (місцевим органом Держкомекології РФ) з зазначенням видів, об'ємів і лімітів

господарської діяльності щодо використання природних ресурсів; екологічних вимог, при яких допускається використання природних ресурсів; наслідків недотримання цих вимог.

Рис.12.1. Зразковий порядок проходження ДЕЕ проекту створювання виробу або будівництва об’єкту РКТ

Важливим моментом укладання угоди і отримання ліцензії є порядок нарахування платежів за користування природними ресурсами і відшкодування збитків.

Порядок нарахування платежів за використання природних ресурсів, за викиди, скиди і за розміщення відходів регламентується відповідними постановами Уряду РФ.

Відшкодування збитків від експлуатації РКТ регулюється в даний час Постановою Уряду РФ від 28.01.93. №77, яка вводить в дію "Положення про порядок відшкодування збитків власником землі, землевласником, землекористувачем, орендатором і втрат сільськогосподарського виробництва". Постановою, зокрема, передбачено відшкодування збитків, виникаючих при вилученні або тимчасовому зайняті земельних ділянок, погіршені якості земель, обмеженні прав власників землі і сільськогосподарських угідь.

Декларування безпеки об'єктів РКТ регламентується постановою Уряду РФ від 01.07.95р. №116-ФЗ.

Аналіз положень федерального закону "Про промислову безпеку небезпечних виробничих об'єктів" дає підстави для висновку, що в обов'язковому порядку декларуванню безпеки підлягають стартові комплекси, сховища КРТ, заправочні і заправочно- нейтралізаційні станції, які містять більше 20т. високотоксичних речовин (гідразину і несиметричного диметилгідразину), названі об'єкти з запасами рідкого водню в кількості понад 50т., а також перераховані об'єкти і киснево-азотні заводи, на території яких зберігається більше, ніж 200т рідкого кисню.

Декларація безпеки об'єкта РКТ повинна містити наступні розділи:

1. Загальна інформація про об'єкт і загальні заходи безпеки.
2. Аналіз безпеки об'єкта РКТ – дані про технології і апаратурне оформлення , аналіз небезпек і ризику, заходи щодо забезпечення безпеки і протиаварійної стійкості.
3. Забезпечення готовності об'єкта РКТ до локалізації і ліквідації надзвичайних ситуацій – опис системи оповіщення про надзвичайні ситуації, опис засобів і заходів для захисту людей; порядок організації медичного обслуговування.

4. Інформування громадськості – порядок інформування населення і органу місцевого самоуправління, на території якого розташований промисловий об'єкт, про надзвичайні ситуації, що прогнозуються і виникають на промисловому об'єкті; порядок надання інформації, яка міститься в декларації безпеки.

5. Ситуаційний план об'єкта проммайданчика промислового об'єкта з ексилікацією будівель і споруд з визначенням кількості працюючих організацій, населених пунктів, місць масового скупчення людей (лікарень, дитячих садків і ясел, шкіл, житлових будинків, стадіонів, кінотеатрів, вокзалів, аеропортів тощо), які знаходяться в зоні дії вражаючих факторів у випадку можливої аварії; зон можливого ураження з зазначенням кількості людей і часу досягнення вражаючих факторів.

6. Інформаційний лист – найменування організації, діяльність якої пов'язана з підвищеною небезпекою виробництва, відомості про відповідального за інформування і взаємодію з громадськістю; короткий опис виробничої діяльності; перелікі основні характеристики небезпечних речовин; коротка інформація про можливі аварії, надзвичайні ситуації і їх наслідки; інформація про способи оповіщення населення при аваріях і необхідні дії населення при промисловій катастрофі; відомості про джерела отримання додаткової інформації.

7. Відомості про виведення промислового об'єкта (особливо небезпечного виробництва) із експлуатації.

У відповідні органи (штаб ЦО, Міністерство надзвичайних ситуацій РФ, місцевого самоврядування та ін.) Декларація подається з експертним висновком.

"Законом про космічну діяльність" введена обов'язкова сертифікація космічної техніки (ст.10).

Система екологічної сертифікації створена наказом Держкомекології РФ №459 від 01.11.96. "Про систему обов'язкової сертифікації за екологічними вимогами", введення якої повинно забезпечити:

1) реалізацію обов'язкових екологічних вимог природоохоронного законодавства при здійсненні господарської діяльності;

2) впровадження екологічно безпечних виробництв; технологічних процесів і обладнання;

3) дотримання вимог екологічної безпеки і попередження забруднення оточуючого середовища при розміщенні, переробці, транспортування, ліквідації і захороненні відходів виробництва і споживання;

4) попередження ввезення в країну екологічно небезпечної продукції, відходів, технологій і послуг;

5) сприяння інтеграції економіки країни в світовий ринок і виконання міжнародних зобов'язань в області управління якістю НПС;

6) встановлення статусу екологічного сертифікату і екологічного знака відповідності як документа, що гарантує дотримання вимог природоохоронного законодавства.

Слід відмітити, що реальна практика сертифікації РКТ за екологічними вимогами в РФ відсутня.

Робота з паспортизації промислових підприємств проводиться в країнах Співдружності у відповідності з Постановою Верховної Ради СРСР від 27.11.89 "Про невідкладні заходи екологічного оздоровлення країни".

Згідно з Постановою були розроблені проекти екологічних паспортів багатьох районів падіння частин РН, що відділяються, і ряду космічних ракетних комплексів.

Порядок розробки, структура і зміст екологічного паспорта об'єкта РКТ і району експлуатації виробу РКТ базуються на основних положеннях ГОСТ 17.0.0.04-90 "Охрана природы. Экологический паспорт промышленного предприятия. Основные положения".

В структурі екологічного паспорту містяться загальні відомості про об'єкт, природно-кліматичні характеристики району, про використання земельних ресурсів, матеріальних і енергетичних ресурсів, характеристики викидів в атмосферу, водоспоживання і водовідведення, відходів, відомості про забруднення території, порушений екологічний стан земель і акваторій, про рекультивацію порушених земель, про транспортні засоби об'єкта, про стан НПС (фонові показники), про організацію і ефективність природоохоронної діяльності (затрати на природоохоронну діяльність, відомості про

узгоджені і затверджені у встановленому порядку нормативи ГДВ, ГДС,ЛРВ та інші документи з екологічних обмежень та їх дотримання, збиток НПС, компенсаційні платежі за використання природних ресурсів).

Розробка екологічних паспортів об'єктів РКТ здійснюється організаціями, які мають ліцензію на виконання цих робіт.

12.4. Забезпечення і контроль екологічної безпеки РКТ на етапі експлуатації

Важливим природоохоронним заходом, спрямованим на забезпечення екологічної безпеки РКТ, є екологічний контроль. На даному етапі починають діяти економічні механізми природокористування – плата за використання природних ресурсів, завданий екологічний збиток і можливо, екологічне страхування.

Забезпечення екологічної безпеки експлуатації РКТ, в основному, базується на вимогах експлуатаційної документації. Загальні технічні вимоги до заходів безпосереднього забезпечення екологічної безпеки експлуатації РКТ передбачені "Керівництвом щодо забезпечення безпечної експлуатації космічних засобів", виданим в 1999р. Росавіакосмосом. Згідно з "Керівництвом…" екологічна безпека РКТ повинна забезпечуватись вибором території, проектуванням і будівництвом споруд технічного і стартового комплексів у відповідності з вимогами санітарних норм проектування промислових підприємств і санітарних правил роботи з КРТ.

Велика увага, в тому числі на Федеральному рівні приділяється забезпеченню безпеки КА з ядерними бортовими джерелами енергії. Так, Постановою Уряду РФ від 15.08. 1997р. №1039 введені в дію "Правила оповіщення органів виконавчої влади при запуску КА з ядерним джерелом енергії", радіаційна безпека в Україні регламентується Законами "Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку" від 08.02.95р. і "Про поводження з радіоактивними відходами" від 30.06.95р.

Закон РФ "Про охорону оточуючого природного середовища" (ст.44) забороняє введення в експлуатацію підприємств, споруд та інших об'єктів, незабезпечених засобами контролю за забрудненням НПС.

Згідно з Законом "Про охорону оточуючого природного середовища" (ст.68) задачами екологічного контролю є:

1) спостереження за станом НПС і його зміною під впливом експлуатації РКТ;

2) перевірка виконання планів і заходів щодо охорони природи, раціонального використання природних ресурсів, оздоровлення НПС, дотримання вимог природоохоронного законодавства і нормативів якості НПС в районах експлуатації РКТ.

Екологічний контроль може здійснюватись державними органами спостереження, виробничими підприємствами та громадськими організаціями.

Державне спостереження за станом НПС повинно здійснюватись засобами Єдиної державної системи екологічного моніторингу (Постанова Уряду РФ від 24.11.93 №1229 "Про створення єдиної державної системи екологічного моніторингу" і наказ Мінприроди РФ від 17.12.93 №265 про заходи щодо виконання Постанови Уряду РФ №1229). Відповідно до Закону РФ "Про охорону оточуючого середовища" до Державного спостереження за станом НПС залучаються і космічні засоби.

Посадові особи органів державного екологічного контролю згідно з їх повноваженнями мають право в установленому порядку:

1) видавати дозволи на право викиду, скиду, розміщення шкідливих речовин;

2) встановлювати за узгодженістю з органами санітарно-епідеміологічного нагляду нормативи викидів, скидів шкідливих речовин стаціонарними джерелами забруднення НПС;

3) призначати ДЕЕ;

4) забезпечувати контроль за виконанням її рішення;

5) вимагати усунення виявлених недоліків, давати в межах наданих прав вказівки або рішення щодо розміщення, проектування, будівництва, реконструкції, введення в експлуатацію об'єктів;

6) притягати у встановленому порядку винних осіб до адміністративної відповідальності, направляти матеріали про притягнення їх до дисциплінарної, адміністративної або кримінальної відповідальності. Подавати позиви в суд або арбітражний суд про відшкодування збитку, завданого

навколишньому природному середовищу або здоров'ю людини порушеннями природоохоронного Законодавства;

7) приймати рішення про обмеження, призупинення, припинення роботи підприємств, споруд, інших об'єктів і будь якої діяльності, яка завдає шкоди НПС і несе потенційну небезпеку для здоров'я людини.

Виробничий екологічний контроль космічної діяльності згідно з Законом "Про охорону оточуючого навколишнього середовища" (ст.71) здійснюється екологічною службою космодрому і ставить своєю задачею перевірку виконання планів і заходів з охорони природи і оздоровлення НПС, щодо раціонального використання і відновлення природних ресурсів, дотримання нормативів якості НПС, виконання вимог природоохоронного законодавства.

Громадський екологічний контроль (ст.72) здійснюється профспілками РФ та іншими громадськими організаціями і ставить своєю задачею перевірку виконання вимог природоохоронного законодавства суб'єктами космічної діяльності.

12.4.1. *Плата за використання природних ресурсів*

Плата за використання природних ресурсів передбачена ст.20 Закону РФ "Про охорону оточуючого природного середовища", яка вимагає плату за природні ресурси, за забруднення НПС та за інші види дії. Аналогічний розділ "Про економічний механізм охорони НПС" існує в Законі України "Про охорону навколишнього природного середовища" від 25.06.91р. з доповненнями 1992 року.

Закон вводить плату за природні ресурси в межах встановлених лімітів. За природні ресурси (земля, надра, вода, ліс та інша рослиність, тваринний світ та інші природні ресурси) плата збирається за право користування природними ресурсами в межах встановлених лімітів, за надлімітне і нераціональне використання цих ресурсів, на відновлення і охорону природних ресурсів.

Як за законами РФ, так і України вартісна оцінка природних ресурсів грунтується на двох показниках:

1) втрати на підготовку та використання ($Ц_1$);

2) прибуток виробника, одержаний в результаті використання ресурсу ($Ц_2$).

Перший показник $Ц_1$ передбачає, що чим ближче до поверхні Землі сировина, тим менша її ціна. $Ц_2$ орієнтований на споживчу вартість ресурсу, враховує якість ресурсу, світові ціни, напрям використання, дефіцитність тощо. Реальна вартість ресурсу Ц знаходиться в інтервалі $Ц_2 > Ц > Ц_1$.

Регіональна оцінка грунтів враховує землекористування, властивості грунту, забезпеченість водою, транспортом, енергією. Ресурси лісу оцінюють як витрати на ведення та відновлення лісового господарства. Сума їх залежить від типу лісу і видів деревини. Лісовідновлення передбачає підготовку ділянок, посадку сіянців та догляд за молодим лісом. Тривалість процесу лісовідновлення для хвойних порід – 80...100, для листяних – 20...30 років.

Оцінка води залежить від її дефіцитності. За умов нестачі води її оцінка грунтується на принципах рентних платежів. При цьому враховуються витрати на підготовку й очищення води та її постачання споживачеві. Вартість води диференціюється за басейнами рік і коливається в широких межах.

Атмосферне повітря за відсутності дефіциту поки що безкоштовне.

Плата за забруднення НПС в РФ здійснюється згідно з Постановою Уряду РФ від 28.08.92 №632 “Про затвердження Порядку визначення плати і її граничних розмірів за забруднення НПС, розміщеня відходів, інші види шкідливої дії”, а також “Інструктивно – методичними вказівками щодо збирання плати за забруднення НПС” від 24.03.93 №190. В Україні плата за забруднення НПС здійснюється згідно з постановою Кабміну України від 01.03.99 №303 “Про затвердження порядку встановлення нормативів збору за забруднення НПС і стягнення цього збору”.

В РФ загальна плата за забруднення атмосферного повітря визначається за формулою:

$$\Pi^{АТМ} = \Pi_{Н}^{АТМ} + \Pi_{Л}^{АТМ} + \Pi_{НЛ}^{АТМ} \qquad (12.1)$$

Тут $\Pi_{Н}^{АТМ}, \Pi_{Л}^{АТМ}, \Pi_{НЛ}^{АТМ}$ - відповідно плата за викиди забруднюючих речовин в розмірах, що не перевищують гранично – допустимі нормативи викидів; плата за викиди забруднюючих речовин в розмірах, що не перевищують лімітних значень викидів; плата за надлімітні викиди забруднюючих речовин (в рублях).

Плата за викиди забруднюючих речовин в розмірах, що не перевищують встановлені природокористувачам ГДВ, визначається шляхом множення відповідних ставок плати одиниці маси забруднення на масу забрудника і складання отриманих добутків за видами забруднюючих речовин:

$$\Pi_{Н}^{АТМ} = K_{Е}^{АТМ} \cdot \sum_{i=1}^{n} H_{БНi}^{АТМ} \cdot M_{i}^{АТМ} \text{ при } M_{i}^{АТМ} \le M_{Нi}^{АТМ} \qquad (12.2)$$

$$\Pi_{Л}^{АТМ} = K_{Е}^{АТМ} \cdot \sum_{i=1}^{n} H_{БЛi}^{АТМ} \left(M_{i}^{АТМ} - M_{Нi}^{АТМ}\right) \text{ при}$$

$$M_{Нi}^{АТМ} < M_{i}^{АТМ} \le M_{Лi}^{АТМ} \qquad (12.3)$$

$$\Pi_{НЛ}^{АТМ} = 5 K_{Е}^{АТМ} \cdot \sum_{i=1}^{n} H_{БЛi}^{АТМ} \cdot \left(M_{i}^{АТМ} > M_{Лi}^{АТМ}\right) \qquad (12.4)$$

де і – вид забруднюючої речовини, і = 1, 2, 3,..., n; $H_{БНi}^{АТМ}$ - базовий норматив плати за викид 1т і – ї забруднюючої речовини в розмірах, що не перевищують лімітних значень (руб.); $H_{БЛi}$ - базовий норматив плати за викид 1т і – ї забруднюючої речовини в розмірах, що не перевищують лімітних значень (руб.); $M_{i}^{АТМ}$ - фактичний викид і – го забрудника (т); $M_{Нi}^{АТМ}$ - ГДВ і – го забрудника (т); $M_{Лi}^{АТМ}$ - лімітний викид і – го забрудника (т); $K_{Е}^{АТМ}$ - коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значущості атмосфери в даному регіоні (для Північно – Західного району РФ $K_{Е}^{АТМ}$ = 1,5).

Базові нормативи плати за викиди конкретних забруднюючих речовин визначаються як добуток питомого економічного збитку

від викидів забруднюючих речовин в межах допустимих нормативів або лімітів викидів $У^{АТМ}$ на показники відносної небезпечності конкретної забруднюючої речовини для НПС і здоров'я населення $A_i^{АТМ}$ і на коефіцієнт індексації $К_{ІН}$

$$Н_{БНi}^{АТМ} = К_{ІН} У^{АТМ} * A_i^{АТМ}, A_i^{АТМ} = \frac{1}{ГДК_{СДi}}, \qquad (12.5)$$

де $ГДК_{СД}$ – середньодобова концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі. При відсутності $ГДК_{СД}$ застосовується $ГДК_{м.\ р}$ – максимальна разова концентрація, а при відсутності $ГДК_{СД}$ і $ГДК_{\ м.\ р}$ застосовується орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБУВ).Коефіцієнт індексації $К_{ІН}$ вводиться у зв'язку із зміною рівня цін на природоохоронне будівництво та на інші напрями природоохоронної діяльності. В 1998 році коефіцієнт індексації склав $К_{ін}$= 43.

За аналогією з атмосферним повітрям загальна плата за забруднення поверхневих і підземних водних об'єктів визначається за формулою:

$$П^{ВОД} = П_{Н}^{ВОД} + П_{Л}^{ВОД} + П_{НЛ}^{ВОД}. \qquad (12.6)$$

Тут $П_{Н}^{ВОД}, П_{Л}^{ВОД}, П_{НЛ}^{ВОД}$ - відповідно плата за скиди забрудників в розмірах, що перевищують допустимі нормативи скидів; плата за скиди забрудників в розмірах, що не перевищують лімітних значень скидів; плата за надлімітні скиди забрудників (руб.). Оцінка вказаних показників здійснюється за формулами:

$$П_{Н}^{ВОД} = К_{Е}^{ВОД} \sum_{i=1}^{n} Н_{БНi}^{ВОД} * М_{i}^{ВОД} \text{ при } М_{i}^{ВОД} \le М_{Нi}^{ВОД}; \qquad (12.7)$$

$$П_{Л}^{ВОД} = К_{Е}^{ВОД} \sum_{i=1}^{n} Н_{БЛi}^{ВОД} * \left(М_{i}^{ВОД} - М_{Нi}^{ВОД}\right)$$

при $М_{Нi}^{ВОД} < М_{i}^{ВОД} \le М_{Лi}^{ВОД}$; (12.8)

$$П_{НЛ}^{ВОД} = 5 К_{Е}^{ВОД} * \sum_{i=1}^{n} Н_{БЛi}^{ВОД} * \left(М_{i}^{ВОД} - М_{Лi}^{ВОД}\right)$$

при $М_{i}^{ВОД} > М_{Лi}^{ВОД}$; (12.9)

в яких використовуються ті ж позначення, що і в (12.2) – (12.6), але відносяться до водних об'єктів.

По аналогії з (12.5) визначаються базові нормативи за скиди конкретних забрудників у воду:

$$Н_{БНi}^{ВОД} = К_{ІН} У^{ВОД} А_i^{ВОД}, \quad А_i^{ВОД} = \frac{1}{ГДК_{РГ}}, \qquad (12.10)$$

де $У^{ВОД}$ – питомий економічний збиток від скидів забрудників у водні об'єкти в межах допустимого нормативу скиду і ліміту (за цінами 3-го кварталу 1998 року складає 0,4435 руб/ умовну тону); $А_i^{ВОД}$ - показник відносної небезпеки *i*–ї речовини у воді; ГДК $_{РГ}$ – гранично допустима концентрація забруднюючих речовин в воді об'єктів рибогосподарського призначення. При відсутності нормативів ГДК$_{РГ}$ застосовуються нормативи ГДК $_{ГП}$ (ГДК в воді об'єктів господарсько – побутового призначення) або ОБУВ.

Загальна плата за розміщення відходів визначається за формулою:

$$П^{ВДХ} = П_{Л}^{ВДХ} + П_{НЛ}^{ВДХ}, \qquad (12.11)$$

де $П_{Л}^{ВДХ}, П_{НЛ}^{ВДХ}$ – плата за розміщеня відходів у розмірах, що не перевищують лімітних значень, і у тих, що перевищують лімітні значення (руб.).

Розмір плати розраховується аналогічно (12.2), (12.3), (12.7), (12.8):

$$П_{Л}^{ВДХ} = К_{Е}^{ВДХ} \sum_{i=1}^{n} Н_{БЛi}^{ВДХ} * М_i^{ВДХ} \text{ при } М_i^{ВДХ} \le М_{Лi}^{ВДХ}; \qquad (12.12)$$

$$П_{НЛ}^{ВДХ} = 5 \cdot К_{Е}^{ВДХ} \cdot \sum_{i=1}^{n} Н_{БЛi}^{ВДХ} \cdot \left(М_i^{ВДХ} - М_{Лi}^{ВДХ}\right)$$

$$\text{при} \quad М_i^{ВДХ} > М_{Лi}^{ВДХ}, \qquad (12.13)$$

де *i* – вид розміщуваного відходу, *i* = 1, 2, 3,..., n; $Н_{БЛi}^{ВДХ}$ – базовий норматив плати за розміщення *i*-го відходу в розмірах, що не перевищують лімітних значень (руб.); $М_i^{ВДХ}$ - фактичне розміщення

i-го відходу (т, м^3); $М_{Лi}^{ВДХ}$ – річний ліміт розміщення *i*–го відходу

(т, м^3); $K_E^{ВДХ}$ - коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значущості місця розміщення відходу (для грунтів Північно – Західного економічного району РФ $K_E^{ВДХ} = 1{,}3$).

При розміщенні відходів на територіях, які належать природокористувачам, базовий норматив плати множиться на коефіцієнт 0,3. При розміщенні відходів в межах міст, населених пунктів, водойм, рекреаційних зоні і водохоронних територій застосовується коефіцієнт 5, менше 3 км від границь вищеназваних об'єктів – коефіцієнт 3.

Внесення плати за використання природних ресурсів і забруднення НПС не звільняє природокористувача від виконання заходів з охорони НПС і відшкодування збитків, завданих екологічним правопорушенням.

12.4.2. Відшкодування збитків, завданих космічною діяльністю

На відміну від плати за використання природних ресурсів питання про плату за екологічний збиток може виникати у випадку аварії або екологічного правопорушення в ході космічної діяльності.

Загальноприйнятих нормативних документів, які формально визначали б розмір збитку, в даний час не існує. При необхідності можна орієнтуватись на підходи до визначення збитку, прийняті у "Тимчасовому порядку оцінки і відшкодування шкоди оточуючому середовищу в результаті аварії" (наказ Мінприроди РФ від 27.06.94 №240).

Стосовно космічної діяльності поняття екологічного збитку зустрічається в Постанові Уряду РФ від 31.05.95 №536 "Про порядок і умови епізодичного використання районів падіння частин ракет, що відділяються". Ця постанова зобов'язує органи виконавчої влади суб'єктів РФ виділяти Міністерству охорони РФ земельні ділянки для падіння частин ракет, що відділяються (далі – райони падіння) при проведенні пусків ракет з космодромів і полігонів Міноборони РФ. При цьому Постановою приписується відшкодовувати власникам збиток, що виникає в результаті падіння частин ракет, що

відділяються. Однак у випадку падіння частин ракет, що відділяються, РН про екологічний збиток може йти мова лише у випадку нештатного падіння частин, що відділяються, наприклад, за межами району падіння. У випадку штатного падіння мова може йти лише про розміщення твердих і рідких відходів у відведеному для цього місці. В Постанові … №536 відмічається, що у випадку використання РП при запусках в інтересах оборони, безпеки країни і у відповідності з Федеральною космічною програмою за використання РП платити на треба.

У випадку комерційних запусків за разове використання РП виплачується компенсація відповідному суб'єкту РФ за формулою:

$$\sum_{КПС} = \frac{STC}{365 * 24}, \qquad (12.14)$$

де $\sum_{КПС}$ – сума компенсаційної виплати (руб.); S – площа РП ($м^2$); T – час використання РП (год.); C – ставка податку на землю (руб.), визначається відповідно до ст. 9 Закону РФ "Про плату за землю".

Відшкодування екологічного збитку, завданого в ході космічної діяльності, може бути здійснене із страхового фонду (ст. 23 Закону РФ "Про охорону оточуючого природного середовища", ст. 25 Закону РФ "Про космічну діяльність").

12.5. Екологічна безпека РКТ на етапі утилізації

Утилізація РКТ включає:

1) збір, вивезення і повторне використання металічного лому з РП частин, що відділяються, РН;

2) розбирання і повторне використання відходів РКТ, які відпрацювали свій термін експлуатації, з простроченими термінами зберігання, некондиційні тощо.

На етапі утилізації здійснюються ті ж заходи щодо забезпечення і контролю екологічної безпеки, що й на етапі експлуатації.

Для знищення виробів РКТ повинні застосовуватись технології (розділ 11), безпечні для навколишнього природного середовища, персоналу і населення.

Технології знищення повинні бути практично безвідхідними, маловідхідними, матеріало- і ресурсозберігаючими з мінімальним навантаженням на НПС.

Звід обов'язків РФ і РК у відповідності з даною Угодою наведений у табл. 12.3.

Вибір технологій знищення небезпечних виробів РКТ повинен здійснюватись міжвідомчими експертними комісіями на конкурсній основі.

В районах знищення виробів РКТ, які містять токсичні і радіоактивні речовини, повинен бути організований моніторинг стану НПС з метою контролю за його можливими змінами.

Таблиця 12.3

Звід обов’язків Російської і Казахстанської сторін, у відповідності з домовленістю між урядом РФ і урядом РК з екології і природокористуванняна території комплексу Байконур в умовах його оренди Російською Федерацією від 4 жовтня 1997 року

Обов’язки Російської сторони	Обов’язки Казахстанської сторони
Природокористування з дотриманням норм екологічної безпеки; Функціонування служб відомчого екологічного контролю і моніторингу, включаючи РП ОЧ РН; Надання Казахстанській стороні даних моніторингу і статистичної звітності в согласовані строки і об’ємах; Своєчасне внесення юридичними і фізичними особами платежів за наднормативні викиди, скиди забруднюючих речовин і розміщення промислових і побутових відходів; Проведення міроприємств по очистці районів падіння від ОЧ	**Надання Російській Стороні законодавчої і нормативної документації, що діє на території Республіки Казахстан;** Інформування населення через засоби масової інформації про нега-тивні екологічні наслідки діяльності космодрому на основі спільних матеріалів, підготовлених Російською і Казахстанською сторонами; Проведення державної екологічної експертизи і погодження норма-тивів викидів, скидів забруднюючих речовин в НПС і розміщення відходів виробництва і споживання на основі матеріалів, наданих Російською Стороною, і видачу дозволів на природокористування для об’єктів, що будуються на космодромі; Участь при необхідності своїх представників в роботах з ліквідації негативних екологічних наслідків аварій і розливів компонентів ракетного палива; Своєчасне внесення наднормативних платежів і штрафів в поза-бюджетний фонд космодрому “Байконур” юридичними особами РК, що функціонують в цьому місці, за викиди, скиди забруднюючих речовин і розміщення відходів; Допуск до об’єктів комплексу “Байконур” представників уповно-важених

Продовження табл. 12.3

Обов’язки Російської сторони	Обов’язки Казахстанської сторони
РН і метало-конструкцій; Розробку у встановленому порядку нормативів викидів, скидів забруднюючих речовин в НПС і розміщення відходів промисловості і споживання і надання необхідних матеріалів для отримання дозволу на природокористування для нових об’єктів, що будуються; Екологічну паспортизацію об’єктів космодрому: ввіз (вивіз) радіо-активних речовин, ядерних матеріа-лів і ядерних установок з території РФ і третіх країн через територію РК на космодром за ліцензією, виданою Казахстанською стороною; Ввіз ядерних матеріалів, призначених для безповоротної відправки в космос на основі дозволів, які видає Казахстанська сторона для транзитних перевезень.	державних органів РК в області охорони НПС для проведення контролю; Ліквідацію радіоактивних аварій у випадках їх виникнення; Державну екологічну експертизу проектних матеріалів на перспек-тивні зразки ракет і космічних апаратів різного призначення і надання результатів експертизи в частині дії на НПС державній екологічній експертизі РК; Надання для державної екологічної експертизи РК проектів будівництва нових і реконструкції діючих об’єктів космодрому; представників уповноважених державних органів РК в області охорони НПС для проведення контролю; Ліквідацію радіоактивних аварій у випадках їх виникнення; Державну екологічну експертизу проектних матеріалів на перспек-тивні зразки ракет і космічних апаратів різного призначення і надання результатів експертизи в частині дії на НПС державній екологічній експертизі РК; Надання для державної екологічної експертизи РК проектів будівниц-тва нових і реконструкції діючих об’єктів космодрому; Своєчасне і повне надання інформації державних і місцевих органів виконавчої влади про аварії, пов’язані з негативними екологічними наслідками, при підготовці і запуску РН; Проведення заходів щодо ліквідації наслідків аваріїй, розливів компо-нентів ракетних палив, радіоактивних забруднень, пов’язаних з діяльністю космодрому, з допуском Казахстанської Сторони.

12.6. Особливості правового забезпечення екологічної безпеки на космодромі “Байконур”

Після 1991 року один із основних російських космодромів – Байконур опинився за межами РФ – в Республіці Казахстан (РК). У зв’язку з цим виникає багато юридичних питань, в тому числі в області екології і природокористування, які були конкретизовані в двох угодах:

1. Угода між урядом РФ і Урядом РК про порядок використання земельних дільниць комплексу “Байконур”, переданого в оренду РФ від 22.04.1996 року;

2. Угода між Урядом РФ і Урядом РК з екології і природокористування на території комплексу “Байконур” в умовах його оренди від 4.10.1997 року.

Останній документ є базовим в указаній області. Ст. 2 Угоди з екології і природокористування приписує підприємствам і організаціям, військовим частинам, іншим юридичним та фізичним особам, діючих на території космодрому “Байконур”, керуватись нормами природоохоронного законодавства РК. З питань, не охоплених вимогами законодавства РК, застосовуються положення природоохоронного законодавства РФ за згодою з Мінприроди РК.

Фінансування робіт з ліквідації негативних екологічних наслідків діяльності космодрому з моменту початку його аренди здійснюється Російською стороною.

Угода забороняє ввезення на територію космодрому радіоактивних і токсичних речовин з метою їх захоронення, утилізації, знищення або зберігання. В той же час ряд РН, пуски яких виконуються з космодрому “Байконур” (РН “Протон”, ”Циклон - М”, перспективні РН на базі ракет “Днепр”, ”Рокот”, які утилізуються) заправляються токсичними КРП, в тому числі несиметричним диметилгідразином. З метою контролю забруднення НПС НДМГ в РК прийнята “Тимчасова інструкція щодо здійснення державного контролю оточуючого середовища від забруднення НДМГ–РНД 211.3.ОТ.02-95”, яка передбачає інспекцію площадок космодрому, РП, а також лабораторій, які працюють з НДМГ.

За результатами інспекції може бути заборонена (або призупинена) діяльність об'єктів, що перевіряються, їх керівництво може бути притягнуто до адміністративної або кримінальної відповідальності.

Тимчасова інструкція містить також рекомендації щодо визначення екологічного збитку від забруднення НДМГ:

$$У = FK_EK_3C, \quad (12.15)$$

де У – економічна (вартісна) оцінка екологічного збитку від забруднення дільниці, тенге, долари та ін.; F – площа забрудненої дільниці, га; K_E – коефіцієнт екологічної цінності; K_3 – коефіцієнт забруднення (екологічного збитку); С – вартісна оцінка екологічної цінності 1 га еталонної екосистеми при K_E = 1,0, в тенге, доларах та ін.

Для екосистем суші: K_E = Б/100, де Б – бал бонітету суші; K_3 – визначається за наявністю НДМГ в рослинності і грунті (табл.12.4). Показник С = 360 тис. доларів/га.

Таблиця 12.4

Характеристика втрати корисності екосистем при забрудненні середовища НДМГ

Вміст НДМГ в грунті, мг/кг	Коефіцієнт забруднення (K_3)	Вміст НДМГ в грунті, мг/кг	Коефіцієнт забруднення (K_3)
0,00	0,06	2,0	0,45
0,002	0,06	4,0	0,55
0,004	0,06	6,0	0,60
0,008	0,07	10,0	0,65
0,010	0,07	12.0	0,70
0,040	0,11	16,0	0,74
0,080	0,14	20,0	0,83
0,10	0,15	40,0	0,89
0,20	0,19	60,0	0,98
0,40	0,24	80,0	0,99
0,60	0,29	100,0	0,99

0,30 1,0	0,33 0,35		1,0

Для рослинності ізотокса 0,2 мг/кг, яка відповідає гранично допустимому рівню НДМГ в рослинах, є границею дільниці з недопустимо забрудненим рослинним покривом і має $К_3$ = 0,06.

Наявність НДМГ в грунтовому покриві навіть в дуже незначних кількостях обов'язково супроводжується перевищенням ГДР його вмісту в рослинах, які накопичують забрудник.

При розрахунку екологічного збитку акваторіям враховується перевищення ГДК НДМГ в воді об'єктів господарсько – питного призначення – 0,02 мг/дм^3 і рибогосподарського призначення – 0,0005 мг/дм^3, при якому $К_3$ = 1,0.

Екологічна цінність водних об'єктів РК, виражена у вигляді $К_3$, змінюється, як правило, в межах 0,6 – 0,15 за наступними категоріями водних об'єктів:

1) водойми і водні системи – оазиси кінцевих розливів рік пустельної зони, водні об'єкти заповідного фонду, ландшафтно – рекреаційні унікуми – $К_E$ = 0,6;

2) озера і озерні системи , існуючі в режимі періодичного омоложування біоти, а також мілководдя (глибина 0…3 м) біологічно продуктивних берегових зон – $К_E$ = 0,38;

3) всі річки, оліготрофні озера, водосховища, акваторії глибиною 3…10 м – $К_E$ – 0,24;

4) тимчасові водотоки і водойми, солонуваті і солоні постійні водотоки і водойми, прибережні акваторії хвилеприбійних, абразійних берегів водойм – $К_Е$ = 0,15.

У випадку аварії РФ призупиняє пуски ракет даного типу до з'ясування причин аварії.

Спори відносно тлумачення і застосування Угод вирішуються Підкомісією відносно космодрому "Байконур" Міжурядової комісії із співробітництва між РФ і РК.

Перелік основних нормативних документів рекомендованих для використання при забезпеченні і контролі екологічної безпеки РКТ

Конституція Російської Федерації. Прийнята 12.12.93. Зміни внесені документами: Указ Президента РФ від 09.01.96 №20, Указ Президента РФ від 10.02.96 №173.

Федеральні закони РФ

Земельный кодекс РСФСР, 25.04.91 № 1103 – 1(ред. От 24.12.93 №2287).

Водный кодекс РФ. 16.11.95 № 167 – ФЗ.

Лесной кодекс РФ. 29.01.97 № 22 – ФЗ.

Об охране атмосферного воздуха. 4.05.99 № 96 – ФЗ.

Об обеспечении экономической основы суверенитета РСФСР. 31.10.90 № 293 – 1.

О санитарно – эпидемиологическом благополучии населения. 30.3.99 № 52 – ФЗ.

О местном самоуправлении в Российской Федерации. 06.07.91 № 1550 – 1 (ред. от 26.11.96 № 141 - ФЗ).

О плате за землю. 11.10.91 № 1738 – 1 (ред. от 27.12.95 № 211 - ФЗ).

Об охране окружающей природной среды. 19.12.91 № 2060 – 1 (ред. от 02.06.93 №5076 - 1).

О защите прав потребителей. 07.02.92 № 2300 – 1 (ред. от 09.01.96 №2 - ФЗ).

О внесении изменений и дополнений в статьи 6, 8 и 12 Закона РСФСР "О плате за землю". 145.02.92 № 2353 – 1.

О недрах. 21.02.92 № 2395 – 1 (ред. от 03.03.95 № 27 - ФЗ).

О сертификации продукции и услуг. 10.06.93 № 5151 – 1 (ред. от 27.12.95 № 211 - ФЗ).

О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. 21.12.94 № 68 – ФЗ.

О внесении изменений и дополнений в Закон Российской Федерации “О недрах”. 03.03.95 № 27 – ФЗ.

Об особо охраняемых природных территориях. 14.03.95 № 33 – ФЗ.

О животном мире. 24.04.95 № 52 – ФЗ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Адушкин В.В., Козлов С.И., Петров А.В.* Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на природную окружающую среду. – М.: «Анкил», 2000. – 640 с.
2. *Франчук Г.М., Малахов Л.П., Півторак Р.М.* Екологічні проблеми довкілля. – К.: КМУЦА, 2000. – 180 с.
3. *Буриченко Л.А., Ененков В.Г., Науменко И.М., Протоерейский А.С.* Охрана окружающей среды в ГА. – М.: Машиностроение, 1992. – 320 с.
4. ДСТУ 3432 – 96. Авіаційна наземна техніка. Терміни і визначення.
5. *Применение* авиации в сельском и лесном хозяйстве. В.А Назаров, С.Г. Старостин, С.Д. Попов и др. М.: «Транспорт», 1975. – 312 с.
6. *Баранов А.М., Солонин С.В.* Авиационная метеорология. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1991. – 384 с.
7. Космос – народному хозяйству // Сб. М.: РКА, 1996. – 256 с.

8. Пономаренко В.К. Ракетные топлива. Спб.: Военная инженерно-космическая Краснознаменная академия им. А.Ф. Можайского, 1995. 620 с.

9. *Химмотология* ракетных и реактивных топлив / Под ред. А.А. Браткова, М.: Химия, 1987. – 304 с.

10. *Челышев В.П., Шехтер Б.И., Шушко Л.А.* Теория горения и взрыва / Под. Ред. Б.И. Шехтера. М.: МО СССР, 1970. – 521 с.

11. *Копраев А.А.* Экологические свойства химических элементов и их соединений: Учебное пособие. М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 1998. – 120 с.

12. *Научно-технический* сборник по проблемам военной экологии. Спб.: Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт, 1995. – 496 с.

13. *Исмаилов Э.Ш.* Биофизическое действие СВЧ – излучений. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 160 с.

14. *Ядерная* энергетика в космосе//Тез. докладов конференции. Ч.2. – доклады иностранных специалистов. Обнинск: Министерство ядерной энергетики СССР, 1991. – 367 с.

15. *Филин В.М.* Экологические проблемы ракетно-космической техники // В Сб. Экологические проблемы создания и применения ракетно-космической техники. М.: НПО «Энергия», 1991. – С.10.

16. *Иванов Б.Н.* Законы физики. – М.: Высш. шк., 1996. – 335 с.

17. *Волошин І.М.* Ландшафтно-екологічні основи моніторингу. – Львів: “Простір М”, 1998. – 356 с.

18. *Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н.* Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1991. – 274 с.

19. *Романов В.И.* Характеристики клуба продуктов сгорания стартующей ракеты // Космические исследования. 1995. Т. 38. № 3. – С. 263.

20. *Монин А.С., Яглан А.М.* Статистическая гидромеханика. СпБ: Гидрометеоиздат, 1992. – 694 с.

21. *Небел Б.* Наука об окружающей среде: Как устроен мир. М.: Мир, 1993. – 424 с.

22. *Атмосфера:* Справочник (справочные данные модели) / Под ред. Ю.С. Седунова. М.: Гидрометеоиздат, 1991. – 510 с.

23. . *Основи акустичної екології.* В.Г. Дідковський, В.Я. Акименко, О.І. Запорожець та ін. – Кіровоград: ПВЦ ГОС "Імекс ЛТД", 2002. – 520с.

24. *Калда Г.С., Савченко З.Б.* Прикладний курс радіометрії і дозиметрії, - Хмельницький: ТУП, 2001. – 261 с.

25. *Хорват Л.* Кислотный дождь. М.: Стройиздат, 1990. – с

26. *Богдановский Г.А.* Химическая экология. М.: МГУ, 1994. – 237 с.

27. *Козин Л.Р., Волков С.В.* Водородная энергетика и экология. – К.: Наук. думка, 2002. – 336 с.

28. *Александров Э.Л., Тишин А.П., Упэнэк Л.Б.* Состав продуктов сгорания ракетных топлив и их локальное влияние на озон // Метеорология и гидрология. 1996. № 3. – С.5.

29. *Бурдаков В.П., Еланский Н.Ф., Филин В.П.* Влияние запусков ракет «Шаттл2 и «Энергия» на озоновый слой Земли // Вестник АН СССР. 1990. № 12. – С.72.

30. *Козлов С.И., Смирнова Н.В.* Приближенный метод оценки разрушения стратосферного озона в головной ударной волне и факеле ракетного двигателя // Космические исследования. 1995. Т. 33. № 6. – С. 630-632.

31. *Воздействие* полетов ракет на озоновый слой земли А.П. Тишин, Э.Л. Александров, А.В. Родионов и др // Химическая физика. 1993. Т. 12. № 9. – С.1183.

32. *Деминов И.Г., Еланский Н.Ф., Озалин Ю.Э., Петухов В.К.* Оценка воздействия регулярных пусков ракет «Энергия» и «Шаттл» на озоновый слой и климат Земли: Препринт № 1. М.: ИФА РАН, 1992.

33. *Karol I.L., Ozolin Y.E., Rozanov E.V.* Effect of space rocket launches on ozone // Ann. Geophys. 1992. V. 10. – P.810.

34. *Филин В.М., Бурдаков В.П.* Глобальная экологическая угроза // Авиация и космонавтика. 1989. № 7. – С.28.

35. *Филин В.М.* Экологические проблемы ракетно-космической техники // Экологические проблемы создания и применения ракетно-космической техники. М.: НПО «Энергия», 1991. – С. 10.

36. *Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х.* Озоновый щит Земли и его изменения. Спб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 288 с.

37. *Макдональд А. Дж., Беннет Р.Р., Хиншоу Дж. К., Барнс М.У.* Ракеты с двигателями на химическом топливе: влияние на окружающую среду // Аэрокосмическая техника. 1991. – С. 96.

38. *Ehhalt D. H., Rohrer F., Wahner A.* Sources and distribution of Nox in the upper troposphere at northem mid-latitudes // J. Geophys. Res. 1992. V. 97. – P.3725.

39. *Горелый К.И., Лампей В.К., Никольский А.В.* Ионосферные эффекты стартов космических аппаратов//Геомагнетизм и аэрономия. 1994. Т. 4. № 3. – С.158.

40. *Нагорский П.М., Цыбиков Б.Б.* Крупномасштабные непреднамеренные волновые возмущения ионосферы // В. Сб. Физические проблемы экологии (Физическая экология). М.: Изд. МГУ, 1998. Вып. 1. – С.49.

41. *Нагорский П.М., Таращук Ю.Е.* Искусственная модификация ионосферы при стартах ракет, выводящих на орбиту космические аппараты // Изв. вузов. Физика. 1993. Т. 36. № 10. – С.98.

42. *Нагорский П.М.* Антропогенные волновые возмущения F – области ионосферы средних широт: Тез. докл. XVIII Всеросс. конф. По распр. Радиоволн. М.: Изд. ИРЭ РАН, 1996. Т. 2. – С. 363.

43. *Суббуревые* проявления в авроральной ионосфере, генерируемые запусками ракет Ю.Я. Ружин, В.Н. Ораевский, Е.Ф. Козлов и др. // В Сб. Труды международного семинара. Физика космической плазмы. Киев: КГУ, 1993. – С. 171.

44. *Измерение* фоновых электростатистических и переменных электрических полей на внешней поверхности модуля «Квант» орбитальной станции «Мир» Н.М. Пушкин, Б.А. Медников, А.С. Машков и др. // Космические исследования. 1994. Т. 32. Вып. 1. – С. 140.

45. *Динамика* электрических полей в приповерхностной зоне КА при инжекции плазмы с борта орбитальной станции «Мир» Н.М. Пушкин, Б.А. Медников, Л.А. Гомилка и др. // Космические исследования. 1997. Т. 35. Вып. 4. – С.442.

46. *В.А. Алебастров, Э.Ш. Гойхман, И.М. Закорин и др.* Основы загоризонтной радиолокации. М.: Радио и Связь, 1984. – 256 с.

47. *Клименко В.В.* Воздействие ракетных двигателей на верхнюю атмосферу высоких широт // Вестник АН экологи и безопасности жизнедеятельности. Спб., 1997. № 5. – С. 23.

48. *Смирнова Н.В., Козлов С.И., Козик Е.А.* Влияние запусков твердотопливных ракет на ионосферу Земли. 1. Область D // Космические исследования. 1995. Т. 33. № 1. – С. 98.

49. *Смирнова Н.В., Козлов С.И., Козик Е.А.* Влияние запусков твердотопливных ракет на ионосферу Земли. 2. Области E. E–F // Космические исследования. 1995. Т. 33. № 2. – С. 115.

50. *Елисеев Н.В., Смирнова Н.В., Козлов С.И.* Возмущения в ионосфере при триттерных эффектах в условиях активных эксперементов в околоземном космическом пространстве // Космические исследования. 1992. Т. 30. Вып. 3. – С. 351.

51. *Власов М.Н., Грушин В.В.* Модель глобального распределения в верхней атмосфере газообразных продуктов работы ракетных двигателей // Космические исследования. 1996. Т. 34. № 1. – С. 30.

52. *Беляев П.П., Поляков С.В., Ермакова Е.Н., Исаев С.В.* Экспериментальные исследования ионосферного альфвеновского резонатора по наблюдениям электромагнитного шумового фона в солнечном цикле 1985 – 1995 гг. // Изв. Вузов. Радиофизика. 1997. Т. 40. № 5. – С. 1305.

53. *Назаренко А.И.* Аэродинамическая аналогия взаимодействия поверхности космических аппаратов разной формы с космическим мусором // Космические исследования. 1996. Т. 34. № 3. – С. 317.

54. *Назаренко А.И.* Моделирование эволюции распределения техногенных частиц и объектов // Проблемы

загрязнения космоса (космический мусор). Институт астрономии РАН. Космосинформ, 1993. – С.114.

55. *Маршалл В.* Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989. – 671 с.

56. *Суржиков С.Т.* Тепловое излучение крупномасштабных кислородоводородных огневых шаров: Анализ проблемы и основные результаты. // Теплофиз. выс. темп. 1997. Т. 35. № 3. – С. 416.

57. *Суржиков С.Т.* Тепловое излучение крупномасштабных кислородноогневых шаров: Исследование вычислительных моделей // Теплофиз. выс. темп. 1997. Т. 35. № 4. – С. 584.

58. *Суржиков С.Т.* Полуэмпирическая модель динамики и излучения крупномасштабных огневых шаров, образующихся при авариях ракет // Теплофиз. выс. темп. 1997. Т. 35. №6. – С. 932.

59. *Голубь А.П.* Численный метод решения уравнений переноса излучения в одномерных задачах радиационной газовой динамики // Журнал вычисл. математики и математ. физики. 1983. Т. 23. № 1. – С. 142.

60. *Мелешко В.Ю., Кирий Г.В.* Ликвидация и утилизация ракетных топлив и зарядов. М.: Военная академия Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого, 1998. – 113 с.

61. *Постников А.Г., Чуйко В.С.* Внешняя баллистика неуправляемых авиационных ракет и снарядов. М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЗ – активна зона (ядерного реактора)
АТ – авіаційний транспорт
АТО – азотний тетраоксид
АХР – авіаційні хімічні роботи
ВВП – вуглеводневе паливо
ГДК – гранично допустима концентрація
ДУ – двигунна установка
ЕМД – електромагнітний двигун
ЕРД – електрореактивний двигун
ЗВ – засіб виведення
ЗНС – заправочно-нейтралізаційна станція
ІД – іонний двигун
КА – космічний апарат
КВК – командно-вимірювальний комплекс
КРК – космічний ракетний комплекс
КРП – компонент ракетного палива
КБ – конструкторське бюро
МО – Міністерство оборони
НДМГ – несиметричний диметилгідразин
НКП – навколоземний космічний простір
НПС – навколишнє природне середовище
НС – надзвичайна ситуація
ОВНС – оцінка впливу на навколишнє середовище
ОШСЗ – орбіта штучного супутника Землі
ПД – плазмовий двигун
ПЗ – паливозаправник
ПК – повітряний корабель
ПММ – пально-мастильні матеріали
РБ – розгінний блок
РАКА – Російське авіаційно-космічне агентство
РКТ – ракетно-космічна техніка
РН – ракета-носій
РП – район падіння
РФ – Російська Федерація
СК – стартовий комплекс
СПД – стаціонарний плазмовий двигун
ТК – технічний комплекс
ФЗ – Федеральний закон
ЦА – цивільна авіація
ЧВ – частина, що відокремлюється
ЯР – ядерний реактор
ЯЕУ – ядерна енергетична установка