

**ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
В АВІАТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ**



ISBN 978-966-932-135-0

**ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
В АВІАТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ**

**В. М. Ісаєнко, С. В. Бойченко,
К. О. Бабікова, О. О. Вовк**



В. М. Ісаєнко, С. В. Бойченко, К. О. Бабікова, О. О. Вовк

**ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
В АВІАТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ**

Підручник



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

В. М. Ісаєнко, С. В. Бойченко,
К. О. Бабікова, О. О. Вовк

**ЗАХИСТ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
В АВІАТРАНСПОРТНИХ
ПРОЦЕСАХ**

Підручник

Київ 2020

УДК 502.1:629.73–04(075.8)
З 386

Автори: *В. М. Ісаєнко, С. В. Бойченко, К. О. Бабікова, О. О. Вовк*

Рецензенти: *Василь Матейчик* – д-р техн. наук, проф.;
Олег Гринишин – д-р техн. наук, проф.

*Рекомендовано вченою радою Національного авіаційного
університету (протокол № 1 від 30.01.2019 р.).*

Захист навколишнього середовища в авіатransпортних процесах : підручник / В. М. Ісаєнко, С. В. Бойченко, К. О. Бабікова, О. О. Вовк. – К. : НАУ, 2020. – 320 с.

З 386

ISBN 978-966-932-135-0

У підручнику стисло і доступно розглянуто найактуальніші проблеми раціонального природокористування, охорони довкілля і підвищення екологічної безпеки під час експлуатації транспортних засобів, зокрема, авіатransпортних процесів, а також визначено найголовніші тенденції розвитку комплексу екологічних наук, змін понятійного апарату, нових ідей та концепцій щодо поглядів на гармонізацію взаємовідносин суспільства і природи. Використано теоретичний та практичний матеріал відомих українських і зарубіжних фахівців-екологів, а також сучасну статистичну інформацію.

Для студентів вищих навчальних закладів спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища». Може бути корисним для інженерно-технічних працівників різних галузей економіки, професійна діяльність яких пов'язана з розробленням, удосконаленням, виробництвом, експлуатацією та обслуговуванням різних видів транспорту.

УДК 502.1:629.73–04(075.8)

ISBN 978-966-932-135-0

© Ісаєнко В. М., Бойченко С. В.,
Бабікова К. О., Вовк О. О., 2020

© НАУ, 2020

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЗ —	активна зона (ядерного реактора)
АТ —	авіаційний транспорт
АТО —	азотний тетраоксид
АХР —	авіаційні хімічні роботи
ВВП —	вуглеводневе паливо
ГДК —	граничнодопустима концентрація
ДУ —	двигунна установка
ЕМД —	електромагнітний двигун
ЕРД —	електрореактивний двигун
ЗВ —	засіб виведення
ЗНС —	заправочно-нейтралізаційна станція
ІД —	іонний двигун
КА —	космічний апарат
КБ —	конструкторське бюро
КВК —	командно-вимірювальний комплекс
КРК —	космічний ракетний комплекс
КРП —	компонент ракетного палива
МО —	Міністерство оборони
НДМГ —	несиметричний диметилгідразин
НКП —	навколосемний 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 —	паливно-мастильні матеріали
РАКА —	Російське авіаційно-космічне агентство
РБ —	розгінний блок
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
ЯЕУ —	ядерна енергетична установка
ЯР —	ядерний реактор



ВСТУП

Стрімкий розвиток науково-технічного прогресу, з одного боку, сприяє економічному зростанню та підвищенню рівня життя, а з іншого — призводить до значних екологічних збитків унаслідок зростання техногенного навантаження на навколишнє природне середовище (НПС).

Стан довкілля визначають як стан глобальної екологічної кризи. Визначальним для людства нині є формування екологічної свідомості, культури та цілісного екологічного світогляду. Екологічна освіта стає базовим знанням, необхідним для усіх технічних спеціальностей, зокрема транспортної.

Сучасним світовим трендом є пріоритет і першочергова увага до екологічних аспектів у вирішенні будь-яких соціально-економічних проблем.

Вирішення екологічних проблем людства сьогодні є основним завданням у контексті Концепції сталого розвитку. Ідея «сталого розвитку» (*sustainable development*) виникла, як шлях подолання ситуації, що загрожує людству загибеллю. Термін «сталий розвиток» набув поширення після публікації доповіді Інтернаціональної комісії з надзвичайних ситуацій (НС) і розвитку, підготованої для ООН у 1987 р. Згідно з дослідженнями Ради з вивчення продуктивних сил України Національної академії наук України (РВПС України НАН України) сталий розвиток — це процес гармонізування продуктивних сил, забезпечення гарантованого задоволення нагальних потреб усіх членів суспільства за умови збереження та поетапного відновлення цілісності природного довкілля, створення

можливостей для рівноваги між її потенціалом і вимогами людей усіх поколінь.

Сучасне життя неможливе без транспортних послуг. Постійно розвивається вся транспортна інфраструктура. Такий розвиток неодмінно супроводжується негативним впливом на довкілля. Умови функціонування транспорту постійно ускладнюються. Процеси різної природи, що відбуваються під час експлуатації транспортних засобів, потребують дальшого вивчення. Таке вивчення є необхідним для розуміння механізмів негативного впливу об'єктів транспорту на НПС та прийняття відповідних управлінських і своєчасних інженерних рішень для його захисту від різних видів впливу.

Стрімкий розвиток авіаційного транспорту та зростання його ролі в житті людини не могло не вплинути на навколишнє середовище. Очевидно, що авіаційний транспорт розвивається швидкими темпами. Світові темпи приросту нальоту літаків цивільної авіації в періоди, не займані економічною кризою, становлять за різними оцінками 5–10 % на рік. Це значно вищі темпи розвитку, ніж інших видів транспорту, енергетики, а також багатьох інших галузей економіки. Відповідно, щороку зростає частка цивільної авіації в забруднення навколишнього середовища.

У авіатранспортних процесах, включно з польотами та обслуговуванням літаків, функціонуванням аеропортів і роботою авіаремонтних підприємств, мають місце різні види забруднень довкілля. Так, хімічне забруднення різноманітними речовинами відбувається внаслідок викидів вихлопних газів літаків під час роботи авіаремонтних підприємств і аеропортів. Механічне забруднення атмосфери спричиняють вітри, що дмуть на великих пустинних просторах аеродромів.

Під час зльоту, польоту та посадки повітряних суден відбувається сильне акустичне (шумове) забруднення навколишнього середовища. Робота радіолокаційного та радіотехнічного обладнання цивільної авіації призводить до електромагнітного забруднення. Свій внесок, хоча й порівняно незначний, авіатранспортні процеси вносять і в теплове забруднення довкілля.

Авіап перевезення пасажирів, функціонування аеропортів можуть призводити до біологічного забруднення навколишнього середовища, поширення інфекційних хвороб і епідемій. Проблему естетичного забруднення довкілля необхідно враховувати впродовж

будівництва аеропортів, особливо в разі їх спорудження в місцях, мало займаних діяльністю людини.

Розглядаючи проблему забруднення навколишнього середовища внаслідок авіатранспортних процесів, необхідно враховувати галузеву специфіку цивільної авіації.

Так, дана проблема особливо актуальна для великих аеропортів з інтенсивним повітряним рухом.

Від хімічного, електромагнітного та шумового забруднень навколишнього середовища потерпають, зазвичай, не тільки пасажери, екіпажі та працівники аеропортів, а й населення прилеглих до аеропортів районів.

Цивільній авіації належить також значна роль у забрудненні верхньої тропосфери та стратосфери, тобто високих шарів атмосфери, які до розвитку повітряного транспорту не зазнавали прямих антропогенних впливів. Забруднення цих шарів атмосфери загрожує глобальними кліматичними та екологічними ефектами, несприятливими для людини і біосфери.

Внесок цивільної авіації в забруднення довкілля не обмежується забрудненнями протягом авіатранспортних процесів. Цивільна авіація не могла б існувати та розвиватися без роботи промислових підприємств (авіаційних, нафтопереробних, металургійних, хімічних і т. ін.). Кожне із цих підприємств робить свій внесок у забруднення навколишнього середовища.

Особливість викидів шкідливих речовин під час експлуатації авіаційного транспорту — це висота (як відомо, сучасні літаки літають на висоті 8–13 км). Результатом цього є різноманітні зміни складу атмосфери як безпосередньо, так і непрямо. Безпосередній вплив — це емісія вуглекислого газу, оксидів азоту (NO_x), водяної пари, незгорілих вуглеводнів (бензол, пропан, етан, ацетилен, метан та ін.), сульфатних часток і сажі. Непрямий вплив — це утворення озону (O_3) в результаті ланцюга хімічних реакцій, схожих на утворення смогу. У нижньому шарі атмосфери озон — шкідлива речовина, що сприяє глобальному потеплінню.

Один літак під час перельоту на 1000 км споживає стільки само кисню, скільки й одна людина протягом року, виділяючи відповідну кількість оксидів водню. Реактивний лайнер під час перельоту з Америки до Європи за 8 год споживає 35 т кисню. Таку кількість виробляють за той самий час приблизно 25 тис. га лісу. Літаки, що

летять на великій висоті, скидають оксиди азоту безпосередньо в нижні шари атмосфери, де вони вступають у реакції, які призводять до руйнування озонового екрана планети, що захищає її від ультрафіолетового випромінювання.

Вихлопні гази двигунів літаків сприяють утворенню озонових дір. У верхню та нижню стратосфери скидають величезну кількість водяної пари. Щодоби в ці шари атмосфери скидають від 10 до 30 т водяної пари. Оксиди азоту вступають у реакцію з озоном стратосфери, що призводить до руйнування цього шару, що захищає біосферу від жорсткого ультрафіолетового сонячного випромінювання.

Свою чергою, збільшення вологовмісту повітряних мас сприяє появі хмар, а в приземному шарі за низьких негативних температур — виникненню туману (смогу). Скинута з двигуна літака водяна пара під впливом турбулентного обміну змішується з навколишнім повітрям, що призводить за низьких температур і високої вологості до конденсації та сублімації водяної пари. За наявності шарів інверсій об'єм водяної пари, що піднімається, розтікається, сприяючи утворенню великої пелени із хмар шароподібної форми. Спочатку хмарний слід має ширину кількох метрів, але, розтікаючись, збільшується до кількох кілометрів. Тобто, водяна пара, яку скидають у атмосферу, може збільшувати кількість пир'ястих хмар і їх вертикальну потужність.

Така зміна пир'ястих хмар відбувається, зазвичай, під час інтенсивних польотів, що призводить до зміни традиційного режиму сонячної радіації. Тобто збільшення кількості пир'ястих хмар призводить до зростання температури повітря.

Забруднення нижньої стратосфери вище за тропопаузу (висоти більш як 9–11 км) впливає на фізико-хімічний склад стратосферного повітря. Частинки, скинуті на висоті 14 км, перебувають у стратосфері близько одного місяця, а на висоті 22 км — до двох років. Це призводить до зменшення густини атмосферного озону та відповідно впливає на погодні умови та клімат Землі, викликає стихійні лиха. Витончення озонового шару є також негативним фактором для екології тваринного та рослинного світів, здоров'я людини.

З екологічного погляду сучасний аеропорт (аеродром) можна розглядати ще й як комплекс випромінювання електромагнітної енергії, що чинить шкідливий вплив на навколишнє середовище та

людину. До джерел випромінювання слід віднести радары, засоби зв'язку тощо.

Найбільш біологічно активними є хвилі дециметрового, сантиметрового та особливо міліметрового діапазону. Медико-біологічні дослідження впливу СВЧ-опромінення на живі організми показали, що воно здатне порушувати (пригнічувати) діяльність центральної нервової системи, руйнувати білкові молекули, що містяться в крові, змінювати функції ендокринних органів людини. Негативний вплив електромагнітних випромінювань посилює шумовий фактор.

Збільшення вантажопідйомності повітряних суден та інтенсивності польотів призвели ще й до підвищення рівня шумності в зонах розташування аеропортів (аеродромів).

Це далеко не повний перелік екологічних проблем, що виникають під час антропогенної діяльності через експлуатацію авіаційної техніки.

Автори підручника ставили собі мету стисло та доступно схарактеризувати найактуальніші проблеми раціонального природокористування, охорони природи та підвищення екологічної безпеки під час експлуатації транспортних засобів, зокрема, під час авіатранспортних процесів, а також визначити найголовніші тенденції розвитку комплексу екологічних наук, змін понятійного апарату, нових ідей та концепцій, поглядів на гармонізування взаємин суспільства та природи.

У даному підручнику широко використаний теоретичний та практичний матеріал відомих українських і закордонних фахівців-екологів, доступна сучасна статистична інформація, що її можна побачити у списку літератури, наведеному в кінці. Ці джерела також рекомендовані студентам технічних спеціальностей для поглиблення власних екологічних знань.

Основною метою даної праці є створення навчально-методичної бази для набуття студентами знань із різноманітних проблем — природокористування та охорони навколишнього середовища, зокрема формування у студентів навичок аналізу та визначення ефективності природоохоронних заходів у транспортній галузі та оцінювання екологічних збитків, що їх завдає НПС антропогенна діяльність через експлуатацію транспортних засобів.

Це сприятиме засвоєнню студентами специфіки впливу видів транспорту на довкілля, що допоможе в майбутньому приймати

відповідні управлінські рішення щодо забруднення НПС у процесі функціонування транспорту.

Методичний матеріал поданий та побудований на принципі єдності еколого-економічних і технічних знань, що буде сприяти розвитку у студентів екологічної свідомості, формулюванню екологічного мислення для вирішення наукових і практичних завдань.

Фахівці транспортної галузі повинні мати розвинене екологічне мислення, почувати громадянську відповідальність за стан природи, враховувати у своїй професійній діяльності можливі негативні наслідки природокористування, прагнучи до ефективного та цілеспрямованого здійснення природоохоронних заходів.

Матеріал, викладений у підручнику, також буде корисним для інженерно-технічних працівників різних галузей економіки, професійна діяльність яких пов'язана з розробленням, удосконаленням, виробництвом, експлуатацією та обслуговуванням різних видів транспорту.

■ Розділ 1

ОСОБЛИВОСТІ ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ТА ФОРМУВАННЯ АВІАТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Захист і поліпшення стану довкілля є пріоритетним завданням світового співтовариства в ХХІ ст. (рис. 1.1, 1.2).

 Літальні апарати	Шум	Погіршення здоров'я Зниження слуху Перешкоди мовленнево-му спілкуванню і прослуховуванню телебачення
	Емісія	Респіраторні захворювання Токсичні симптоми Дискомфорт
	Звуковий удар надзвукового пасажирського літака	Орієнтувальна реакція людей Посмикування Розлади сну
	Викиди парникових газів	Глобальне потепління Зміна клімату
	Екологія території аеропорту	Забруднення довкілля

Рис. 1.1. Екологічні чинники авіації та їх шкідливі наслідки

Завдяки діяльності ІКАО і Авіатранспортної оперативної групи (АТАГ) з розроблення чіткого переліку цілей зниження шкідливого впливу авіації на клімат повітряний транспорт став однією з найбільш проактивних галузей.

Екологічна діяльність ІКАО значною мірою спрямована на реалізацію заходів, затверджених Асамблеєю ІКАО, включно з проведенням міжнародної конференції з екологічно стійкого біопалива, організацією навчання з розроблення планів дій держав-учасниць, а також продовження реалізації програми Комітету із

захисту довкілля від впливу авіації (АТАГ). САЕР виконує свою діяльність із розроблення технічних засобів скорочення й обмеження екологічного впливу авіації.

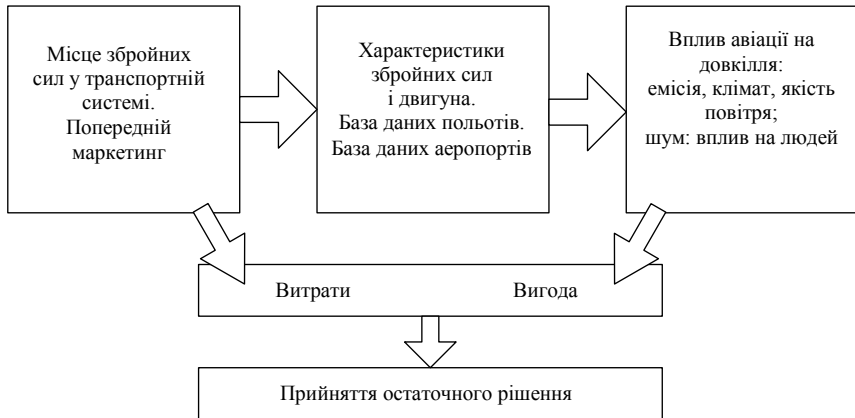


Рис. 1.2. Схема прийняття рішення про створення збройних сил з урахуванням їх впливу на довкілля

Для захисту довкілля ІКАО ввела обмеження на шум літаків і емісію (викиди) шкідливих речовин (ШР) авіаційних двигунів. Міжнародні екологічні стандарти ЗС цивільної авіації викладені у Т. 1 «Авіаційний шум» і Т. 2 «Емісія авіаційних двигунів» Додаток 16 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію.

Нормованим параметром авіаційного шуму літаків є максимальне значення EPN — ефективного рівня сприйманого шуму в децибелах, визначуваного вимірюванням шуму під час зльоту, набирання висоти і посадки літака. Норми авіаційного шуму дозвукових реактивних літаків, заявку на проведення сертифікації яких прийняли 6 жовтня 1977 р. (з певними винятками), зазначені у розд. 2, жорсткіші норми — у розд. 3 тому 1, Додаток 16.

На сьогодні ІКАО нормує емісію оксидів вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x) і диму від ТРД і ТГД у зоні аеропортів, а також забороняє умисне забруднення викидами палива після зупинення двигуна. Вимоги Міжнародного стандарту для дозвукової авіації щодо викидів диму двигунів, виготовлені після 1982 р., за більш як 26,7 кН, виготовлені після 1985 р.

Близько 70 % викидів авіаційних двигунів складає вуглекислий газ (CO₂), 30 % — водяна пара (H₂O). Обидва ці гази є парникови-

ми газами (табл. 1.1). Емісія авіаційних двигунів містить такі ШР, як: оксиди сірки SO_x , незгорілі вуглеводні C_nH_m , чадний газ CO , оксиди азоту NO_x , тверді частинки й інші компоненти, загальний уміст яких становить близько 1 %.

Таблиця 1.1

**Парникові гази: зміна концентрації,
внесок у глобальне потепління й основні джерела**

Газ	Збільшення концентрації порівняно з 1950 р., %	Внесок у глобальне потепління*, %	Основні антропогенні джерела (IEA Greenhouse Gas R&D Programme)
CO	30	46	Спалювання органічного палива (включно з виробництвом енергії і транспортом)
			Зведення лісів і землекористування
			Виробництво цементу
N ₂ O	15	6	Застосування добрив
			Розчищення місцевості
			Виробництво адипінової і азотної кислот
			Спалювання біомаси
			Спалювання органічного палива

* Для порівняння впливу різноманітних газів зазвичай застосовують потенціал глобального потепління (ПГП) щодо CO_2 . Для CO_2 він дорівнює 1. ПГП враховує поглинальну здатність газу і етапи його життєвого циклу в атмосфері. ПГП має відповідати певному періоду часу (IEA Greenhouse Gas R&D Programme). Приклади величини ПГП за столітній період: CH_4 — 21,310 для N_2O і кілька тисяч для галогенопохідних. Викиди, оцінювані за допомогою ПГП, називають CO_2 -еквівалентами.

ІСАО визначила три мети в галузі захисту довкілля для світової цивільної авіації. Вони пов'язані зі скороченням кількості осіб, zagrożених впливом (що зазнають впливу) значного авіаційного шуму, зниженням впливу авіаційної емісії на глобальний клімат і якість повітря.

Таким чином, концептуальною проблемою сучасної авіації є керування паливною ефективністю через екологічні стандарти. Прогнозоване зростання пасажирських потоків і зростання об'ємів

спалюваного авіаційного палива має супроводжуватися загальним скороченням C_nH_m , CO , CO_2 , NO_x , SO_x та інших домішок.

На саміті «Екологія й авіація» (вересень 2010 р.), організованому АТАГ, представники авіаційної індустрії (виробники ЛА, авіакомпанії, аеропорти та ін.) проголосили такі цілі:

- середньо у 1,5 % на рік підвищувати паливну ефективність авіації аж до 2020 р.;
- до 2020 р. досягти вуглець-нейтрального зростання;
- до 2050 р. на 50 % скоротити емісію порівняно з 2005 р.

1.1. Загальна характеристика різних видів транспорту

Транспорт створює потужне техногенне навантаження на довкілля. Жива та нежива природа у багатьох випадках відчуває на собі дію транспорту та його інфраструктури. Це дає право говорити про виникнення нового екологічного напрямку — транспортної екології, що вивчає різні аспекти дії об'єктів транспорту на НПС.

В Україні розвиваються практично всі види транспорту: авіаційний, залізничний, автомобільний, морський, річковий, трубопровідний та електронний. Усі види транспорту доповнюють один одного і разом зі транспортними шляхами утворюють транспортний комплекс (рис. 1.3).

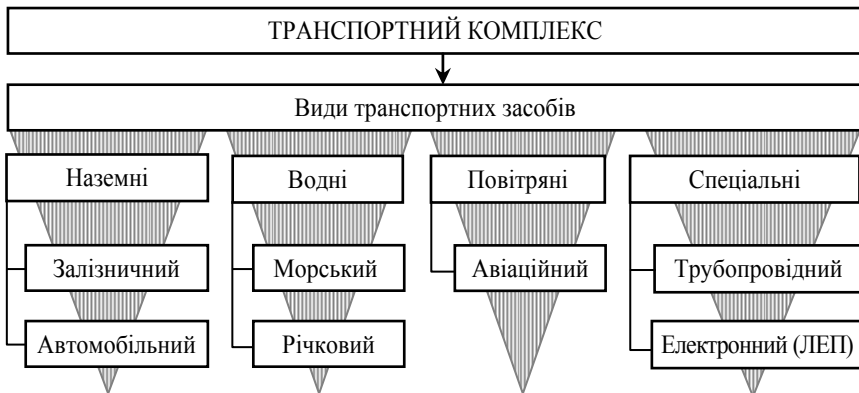


Рис. 1.3. Структура транспортного комплексу

Транспортний комплекс — технічно-економічна структура, призначена для перевезення вантажів і людей, що включає:

– систему проектування, будівництва, реконструкції, ремонту, обслуговування доріг, мостів, тунелів, залізничних колій, злітних смуг та інших споруд;

– автомобільну, авіаційну, суднобудівну, вагонобудівну промисловість, будівельно-дорожнє і транспортне машинобудування;

– галузь експлуатації та ремонту цих машин, підтримання працездатності рухомого складу, дорожнього господарства, служби керування рухом тощо;

– виробництво будівельних матеріалів, шин, палив і олів, електротехнічних пристроїв, запчастин, експлуатаційних рідин.

Об'єкти транспорту — автомобілі, літаки, судна, локомотиви, компресорні станції та інші транспортні засоби, оснащені енергоустановками, які забезпечують виконання транспортних завдань, а також інженерні споруди (дороги, тунелі, залізничні колії, шляхопроводи, злітні смуги тощо).

Життєвий цикл об'єкта транспорту — це хронологічна послідовність етапів підготовки матеріалів (добування та перероблення сировини, виробництва конструкційних та експлуатаційних матеріалів, їх транспортування та зберігання), виробництва, експлуатації, відновлення працездатності й утилізації об'єкта транспорту.

Етап підготовки матеріалів включає добування та перероблення сировини, виробництво конструкційних та будівельних матеріалів, з яких складається об'єкт транспорту, експлуатаційних матеріалів, необхідних для його функціонування.

Етап виробництва включає виготовлення вузлів, деталей, складання об'єктів транспорту, будівництво споруд та ділянок транспортної інфраструктури.

Етап експлуатації включає виконання транспортних завдань протягом терміну служби об'єкта транспорту (одиниці рухомого складу, чи об'єкта транспортної інфраструктури).

Етап відновлення працездатності передбачає здійснення технічного обслуговування та ремонту об'єкта транспорту з відновленням деталей, вузлів, агрегатів, які відпрацювали свій ресурс, або їх заміну.

Етап утилізування об'єкта транспорту передбачає розбирання, перероблення непридатних до відновлення деталей і вузлів, повторне використання конструктивних, будівельних і експлуатаційних матеріалів на попередніх етапах життєвого циклу об'єктів транспорту або в інших галузях, чи захоронення непридатних для використання відходів.

Кожен із цих етапів передбачає споживання енергоресурсів, конструктивних, будівельних та експлуатаційних матеріалів. Технологічні процеси часто супроводжуються викидами шкідливих, а часом і токсичних речовин. Усі вони є чинниками забруднення повітря, води, ґрунту, виснаження природних ресурсів. Особливої шкоди довкілля зазнає у разі, коли:

- відбувається перевищення граничнодопустимих концентрацій шкідливих (токсичних) речовин у викидах та скидах, перевищення допустимих рівнів шуму, вібрації, скидів чи викидів залишкової теплоти, електромагнітного та радіоактивного випромінювання тощо;
- споживання матеріалів і енергії перевищує встановлені нормативи;
- уміст шкідливих (токсичних) речовин у використовуваних матеріалах перевищує граничнодопустимі значення;
- поводження з відходами, що утворюються протягом життєвого циклу об'єктів транспорту, відбувається з порушенням встановлених правил.

Вимоги до характеристик об'єктів проєктованого транспорту можуть відображати вибір нової або покращеної техніки з урахуванням її екологічних переваг у вигляді:

- необхідного рівня витрат енергії та матеріалів, включно із затратами на їх видобування, підготовку (очищення), проміжні виробничі процеси та дальші технологічні процеси їх перероблення;
- необхідної кількості та характеристик утворених відходів на всіх етапах життєвого циклу;
- бажаного рівня вхідних і вихідних потоків (матеріалів і енергії), пов'язаних із пакуванням, транспортуванням, розподілом і використанням об'єкта транспорту;
- бажаних варіантів відновлення, включно з відновленням (поверненням різними шляхами) витрат енергії, повторного використання або рециклінгу, а також простоту розбирання, відновлення чи ремонту;
- бажаних варіантів утилізування і пов'язаних з ним відходів.

Наслідки впливу об'єктів транспорту на навколишнє середовище визначають за величинами вхідних і вихідних потоків на всіх етапах життєвого циклу. Матеріали переробляють або перетворюють на відходи та забруднення. Різні види енергії розсіюються, перетворюючись на теплоту, яку не можна повторно використовувати.

вати. Під час користування об'єктами транспорту використовують сировину з надр та більшість видів енергії повертають у вигляді відходів і теплоти, які поступово накопичуються.

Вхідні потоки поділяють на матеріальні й енергетичні. Матеріальні пов'язані з видобуванням сировини, виробництвом, транспортуванням, використанням, технічним обслуговуванням, повторним використанням і утилізацією продукції. Вони по-різному впливають на середовище, що призводить до пришвидшеного виснаження природних ресурсів, відчуження територій, зниження родючості ґрунтів, дії шкідливих (токсичних) матеріалів на здоров'я людини тощо. Джерелами енергетичних потоків є хімічне паливо (тверде, рідке, газоподібне), атомні станції та гідроелектростанції, геотермальні джерела, вітер тощо.

Вихідні потоки утворюються у вигляді твердих відходів, рідких та газоподібних викидів в атмосферу, гідросферу, літосферу, енергетичних викидів. Для об'єктів транспорту вхідні та вихідні потоки можна уявити у вигляді процесів обміну енергією та речовиною, між ними і довкіллям протягом їх життєвих циклів. Ці процеси можуть відображати різні показники. Значення цих показників залежать від експлуатаційних характеристик об'єктів транспорту. Це питоме споживання палива, токсичність, матеріалоємність, енергоємність, нормативний термін експлуатації тощо.

Саме екологія як наука про середовище існування людини, його живі та неживі компоненти, взаємозв'язки, взаємодію між ними, а також про особливості цих взаємозв'язків і узгодження Стратегії природи зі Стратегією людини має базуватись на ідеї самообмеженості, раціональної коеволюції техносфери та біосфери, мінімізуванні впливу техногенезу на природні комплекси.

Основними завданнями екології є:

- дослідження особливостей функціонування екосистем, взаємозв'язків компонентів природи та виявлення змін, викликаних антропогенним впливом;
- створення наукових засад раціонального використання природних ресурсів;
- прогнозування змін природи під впливом діяльності людини та виявлення меж трансформації природних екосистем людиною;
- розроблення теоретичних засад охорони середовища існування людини та природи, збереження природного біорізноманіття тощо.

Головним предметом вивчення сучасної екології є дослідження взаємозв'язку між суспільством і довкіллям, з метою збереження природи та створення сприятливих умов існування людини.

Предметом дослідження екології є детальне вивчення структури та функціонування природних, природно-антропогенних і антропогенних екосистем, з метою розроблення теоретичних засад їх охорони (рис. 1.4).

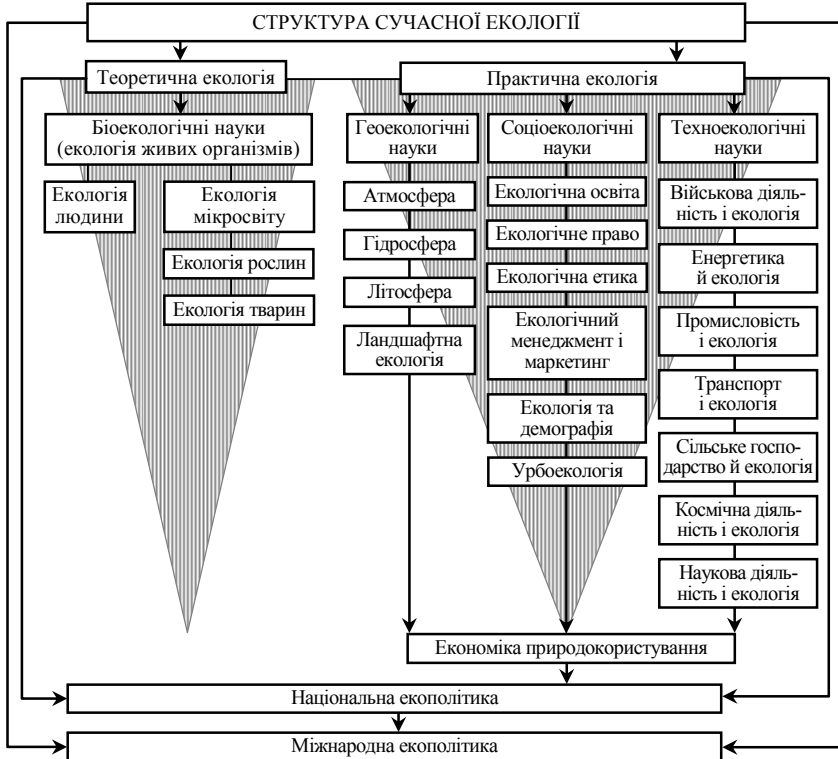


Рис. 1.4. Структура сучасної екології

Умовно екологію поділяють на дві великі галузі знань:

- загальну (теоретичну, фундаментальну);
- прикладну (практичну).

До загальної екології належать:

- біоекологія (у біологічній науці її називають «загальною екологією»);

- геоекологія (географічна екологія, екологія довкілля, атмосфери, океану тощо);
- екологія природних зон (тундри, степу тощо);
- екологія регіонів (високогір'я, крайньої півночі та інших географічних об'єктів);
- теоретична екологія, або метаекологія — наука знаходиться у стадії становлення, фактично вона поки ще є конгломератом фундаментальних досліджень інших наук, таких як географія, біологія та ін.;
- інформаційна екологія — зовсім нова наука, тому визначити напрями її майбутнього розвитку, окрім геосистемного, поки що важко. До прикладної (практичної) екології належать:
 - а) екологія людини:
 - медична екологія (біологічні аспекти людини, медичні, психічні, географічні та ін.);
 - соціоекологія (екологія соціальних груп, екологічна демографія, екологія поселень, зокрема урбоекологія, рекреаційна екологія та ін.);
 - б) екологія господарства (природокористування):
 - техноекологія (екологічні аспекти галузей господарства, використання природних ресурсів тощо);
 - транспортна екологія — напрям, що сьогодні інтенсивно розвивається. Він має власний понятійний апарат, термінологію, аксіоматику, методи дослідження процесів, вплив транспортних процесів на довкілля;
 - охорона природи (довкілля) — досліджує ті самі аспекти, що і природокористування, але природокористування методологічно побудоване на дослідженні в напрямку від господарства до природи, а охорона довкілля, навпаки, — від природи до господарства. Часто природокористування й охорону природи розглядають разом, як одну науку. Окремим напрямом охорони природи є заповідна справа;
 - економіка природокористування та екологічний менеджмент — економічні методи регулювання природокористування й охорони природи;
 - екологічний аудит — контроль і екологічне оцінювання діяльності підприємств, удосконалення регулювання впливу на довкілля та його інвестиційної привабливості;

- екологічний маркетинг — управлінська діяльність у складі загального менеджменту підприємств, спрямована на вивчення та використання ринку екологічної продукції та послуг;

- екологічне право (юридичні аспекти природокористування);

- екологічна стандартизація;

- управління природокористуванням і охороною довкілля — адміністративні методи природокористування, організація системи управління в галузі охорони довкілля, організація моніторингу, екологічної експертизи, організація екологічних аспектів діяльності окремих підприємств і організацій тощо;

- екологічний моніторинг — спостереження й оцінювання стану довкілля;

- екологічне прогнозування — випрацювання прогнозів і програм розвитку регіонів, галузей та інших об'єктів у напрямку зменшення їх негативного впливу на довкілля;

- екологічна експертиза — запобігання негативному впливу на довкілля нововведень;

в) радіаційна екологія вивчає наслідки радіаційного забруднення та можливі наслідки експлуатації об'єктів, що використовують атомну енергію та радіоактивні речовини;

г) екологія Космосу — нова наука, що досліджує забруднення найближчого космічного простору Землі, розробляє методи спостереження за станом довкілля в планетарному масштабі.

Окреме місце посідають нові науки: «екологія культури» і «філософська екологія». Вони тільки починають розвиватися й якими вони будуть поки що важко визначити. Вони вивчають культурологічні та філософські аспекти існування системи «суспільство–природа».

Безумовно, що існує багато інших класифікацій структури екологічної науки. На нашу думку, вищенаведена є найбільш прийнятною.

Екологія — наука, що знаходиться на перехресті багатьох наукових напрямів. Вона тісно пов'язана з іншими науками. Правильніше було б сказати, що вона є конгломератом, а не системою, окремих наукових напрямів. Часто зв'язки між екологічним аспектом дослідження (напрямом екології) і базовою наукою (з якої він виник) є тіснішими, ніж зв'язки між окремими галузями екологічної науки. Так, наприклад, біоекологія тісніше пов'язана з біологією, ніж, наприклад, з економікою природокористування.

Загалом екологічна наука співпрацює з блоками:

- природничих наук (біологія, географія, геологія, фізика, хімія, математика та ін.);
- суспільних наук (соціологія, економіка, управління та ін.);
- гуманітарних наук (філософія, історія, культура, психологія, етика тощо).

Екологічна чистота — рівень впливу об'єкта транспорту на параметри довкілля та його здатність «вписуватися» у природні матеріальні й енергетичні цикли.

Екологічна дія — наслідки будь-якого впливу об'єкта транспорту (навмисного чи випадкового, поступового чи катастрофічного) на довкілля, пов'язаного із транспортною діяльністю.

Екологічна безпека транспорту — рівень захищеності довкілля від впливу об'єктів транспорту.

Параметри стану довкілля — температура середовища, тиск, концентрація речовин, напруженість електричного та магнітного полів, радіоактивний фон, рівень шуму, вібрації тощо. Для забезпечення стійкості екосистем параметри стану довкілля повинні знаходитися в межах допустимих значень. Діяльність об'єктів транспорту може призводити до виходу значень окремих параметрів за межі допустимих на окремих ділянках території.

Природні екосистеми існують за рахунок сонячної енергії, яка не забруднює довкілля. Матеріальні та енергетичні перетворення, що відбуваються в цих екосистемах, забезпечують підтримання життя на планеті та полягають у тому, що отримання ресурсів та позбавлення відходів відбувається глобально без забруднення середовища за рахунок кругообігу речовин та енергії.

Транспортна діяльність, як і решта видів антропогенної діяльності, порушує принципи функціонування природних екосистем і призводить до забруднень.

Забруднення — це будь-яка небажана для екосистем антропогенна зміна. Розрізняють кілька різновидів забруднень: інгредієнтне, параметричне, біоценотичне, ландшафтне забруднення.

Інгредієнтне забруднення пов'язане із сукупністю хімічних речовин, кількісно чи якісно чужих природному біогеоценозу.

Параметричне забруднення являє собою зміну якісних параметрів довкілля (шум, вібрації, надлишкова теплота, електромагнітне випромінювання).

Біоценотичне забруднення пов'язане з негативним впливом на склад і структуру популяцій живих організмів.

Ландшафтне забруднення полягає у руйнуванні природних ландшафтів, що знищує місце мешкання популяцій живих організмів, чи у порушенні регенераційних властивостей природних ландшафтів.

Обсяги використання матеріальних і енергетичних ресурсів у транспортній діяльності та обсяги утворюваних забруднень мають максимально узгоджуватися із природними процесами в екосистемах і не порушувати природних процесів поглинання, регенерації та регулювання, адже будь-яка екосистема обмежена в ресурсах і в здатності до регенерації. Без урахування цього транспортна діяльність призводить до втрати стійкості екосистем, їх деградації та руйнування. Розмикається біогеохімічний кругообіг речовин і, як наслідок, природні ресурси перестають відтворюватися в межах колишніх природних коливань.

Природні екосистеми руйнуються також унаслідок змін клімату, спричинених змінами концентрацій окремих газів (O_3 , CO_2) у тропосфері та стратосфері, зниження прозорості атмосфери через її забрудненість, закислення атмосфери та гідросфери, спричинених підвищенням концентрації іонів водню через викиди в атмосферу оксидів азоту та сірки. Наслідки цих та інших явищ для здоров'я людини недостатньо вивчені.

Руйнування природних екосистем призводить до локальних екологічних криз та локальних екологічних катастроф.

Локальна екологічна криза — це порушення біогеохімічного кругообігу внаслідок руйнування та пригноблення антропогенною діяльністю природних екосистем.

Локальна екологічна катастрофа — перевищення допустимих значень параметрів стану довкілля, внаслідок яких порушується стійкість локальних екосистем. Порушення біогеохімічного кругообігу знижує стійкість екосистем, що своєю чергою, поглиблює порушення біогеохімічного кругообігу і так далі. Таким чином, виникає підсилюваний зворотний зв'язок.

Забезпечення екологічної безпеки транспортних процесів — це обмеження дії об'єктів транспорту, за яких допустимі рівні небезпеки не перевищують порогу стійкості екосистем.

Виокремлюють прямі та непрямі ознаки виходу екосистем за межі стійкості. Серед прямих вирізняють:

- скорочення запасів ресурсів;
- збільшення концентрації забруднювальних речовин;
- порушення роботи природних механізмів очищення від забруднень.

До непрямих належать:

- збільшення капіталів, матеріальних та трудових ресурсів, спрямованих на добування бідних, віддаленіших, розсіяніших ресурсів або на види діяльності, які раніше виконувала сама природа (оброблення стічних вод, очищення повітря, відновлення поживних речовин у ґрунтах, збереження біорізноманіття тощо), а також на види діяльності, пов'язані з охороною, забезпеченням доступу до ресурсів, що залишилися;

- зростання кількості конфліктів за право володіння джерелами ресурсів чи місцями скидання стоків.

Відстеження прямих ознак потребує постійного моніторингу параметрів довкілля, оскільки внаслідок відстеження лише непрямих ознак можна отримати недостовірну інформацію про процеси, що відбуваються.

Однією з найпоширеніших помилок суспільства є спроба заплющувати очі на ознаки виходу екосистем з рівноваги та сліпо вірити в технічний прогрес і можливості вільного ринку.

Насправді ринок потрібний для привертання уваги до проблем (виснаження ресурсів, збільшення забрудненості середовища), для дослідження засобів їх вирішення та вибору кращих варіантів. Технології забезпечують людство засобами для цього. Вільний ринок та технології тісно пов'язані одна з одною. Вони створюють негативний зворотний зв'язок, який коригує ситуацію, знижує концентрації забруднень, відновлює роботу природних механізмів очищення, тобто відновлює рівновагу екосистем. Завдяки таким негативним зворотним зв'язкам суспільство може продовжувати розвиток.

Стійкий розвиток — це забезпечення умов, за яких позитивні та негативні зворотні зв'язки взаємно врівноважуються, а основні планетарні екосистеми перебувають у стані динамічної рівноваги, залишаючись незмінними.

Суспільство у стані стійкого розвитку має характеризувати стабільне (незростальне) споживання природних ресурсів (нові заводи, будівлі, машини, об'єкти транспорту вводять у експлуа-

тацію замість старих, які своєю чергою, доправляють на перероблення), потік матеріальних благ, що припадає на одну людину, не зростає в абсолютному вимірі, але стає різноманітнішим за складом.

Суспільство здобуває нові знання, підвищує ефективність виробничих процесів, змінює технології, удосконалює систему управління тощо. При цьому темпи споживання відновлюваних ресурсів (вода, деревина, біоресурси) не перевищують темпів їх регенерації. Темпи споживання невідновлюваних ресурсів (викопне паливо, викопні руди, ґрунтові води) не перевищують темпів їх заміни на відновлювані або невичерпні ресурси (сонячна та вітрова енергія, енергія приливів і хвиль, геотермальна енергія тощо).

Наприклад, нафтове родовище можна експлуатувати в стабільному режимі, якщо частину доходів від нього систематично спрямовувати на виробництво пристроїв перетворення сонячної, вітрової, геотермальної чи інших невичерпних видів енергії або на висаджування дерев як відновлюваного ресурсу. Так, після вичерпання нафтового родовища забезпечують еквівалентний потік енергії від невичерпного або відновлюваного ресурсу.

Інтенсивність викидів забруднювальних речовин у такому суспільстві не перевищує темпів, з якими ці речовини поглинаються, або їх переробляють, або вони втрачають свої шкідливі властивості.

Сучасне суспільство має прагнути до забезпечення стійкого розвитку транспортної системи, а саме: підвищення кількості та якості транспортних перевезень за збереженого екологічно безпечного рівня впливу на навколишнє середовище.

Усі об'єкти транспорту поділяють на такі основні групи: автомобільний, залізничний, повітряний, водний та трубопровідний транспорт.

Повітряний транспорт використовують переважно для швидких перевезень на великі відстані.

До переваг цього виду транспорту відносять:

- можливість доставлення вантажів на великі відстані й у недоступні чи важкодоступні для інших видів транспорту райони;

- менші капітальні витрати порівняно із залізничним та автомобільним транспортом (будівництво в бездорожніх районах двох аеропортів у вихідному та вхідному пунктах маршруту потребують незначних витрат часу, а капіталовкладень – у багато разів менше, ніж для спорудження полотна залізничних або автомобільних доріг);

– велика середня швидкість перевезень, що уможливорює перевезення на велику відстань вантажів, які швидко псуються, а також вантажів, доправлення яких є дуже терміновим;

– велика організаційна маневровість та можливість створювати прямі сполучення.

До недоліків можна віднести порівняно високу собівартість перевезень, обмеженість ваги та габаритів вантажу, що перевозять.

Транспортна галузь України досить розвинена. Вона має доволі складну розгалужену структуру. Її частка у внутрішньому валовому продукті становить близько 10 %. При цьому практично жоден вид транспорту не може самостійно забезпечити повний цикл переміщення за схемою «від дверей до дверей». Таке переміщення можливе лише за чіткої взаємодії окремих частин транспортного комплексу.

Високої ефективності транспортного обслуговування виробництва можна досягти лише у разі, якщо всі види транспорту працюють злагоджено та у взаємозв'язку, а всю транспортну мережу розглядають у єдності, утвореній окремими ланками, які відрізняються за своїми функціями й можливостями.

Тимчасом відсутність послідовної реалізації загальної стратегії розвитку транспортного сектора та програм для окремих видів транспорту на підставі прогнозів обсягу руху та пріоритетів державної транспортної політики призводять до того, що транспортна система України значною мірою не відповідає світовим стандартам, а також вимогам, прийнятим в Європейському Союзі, а її інфраструктура та обладнання суттєво відстають від європейських.

Головною проблемою транспортного комплексу України є й те, що поступово зростає зношеність рухомого складу транспортних засобів.

За цих умов держава має докладати зусиль для покращення економічної ситуації на транспорті через посилення його організаційно-правових засад. Тому з метою підвищення ефективності державного управління цією галуззю відповідно до Закону України «Про транспорт» останній в Україні об'єднаний в Єдину транспортну систему.

У структурі експортованих послуг наземного транспорту (без трубопровідного) пріоритет належить залізничному транспорту, частка якого становить понад 82 %.

Україна має одну з найрозвиненіших у Європі мережу залізниць. Зростання обсягів торгівлі Євросоюзу з Китаєм, Росією й Індією зумовило ініціювання Китаєм будівництва високошвидкісної залізничної магістралі з Європи до Китаю. Очікують, що перша транснаціональна магістраль може пролягати маршрутом: Лондон — Париж — Берлін — Варшава — Київ — Санкт-Петербург — Москва — Єкатеринбург — Астана — Іркутськ — Улан-Батор — Пекін. Уведення в дію такої залізничної магістралі дасть змогу пасажирам доїхати з Лондона до Пекіна за дві доби. Швидкість потягу становитиме близько 320 кілометрів на годину.

Українська авіаційна транспортна система перебуває на шляху інтеграції до загальноєвропейської. Для впровадження в Україні програми «Єдиного європейського неба» необхідним є повне приведення у відповідність зі стандартами Євроконтролю системи стягнення аеронавігаційних зборів, автоматизація усіх районних центрів управління повітряним рухом. Інтеграція до спільного авіаційного простору передбачає адаптацію системи економічного регулювання авіаційних перевезень до європейських вимог.

Транспортна система повинна відповідати вимогам суспільного виробництва та національної безпеки, мати розгалужену інфраструктуру для надання всього комплексу транспортних послуг, зокрема для складування і технологічної підготовки вантажів до транспортування, забезпечувати зовнішньоекономічні зв'язки України.

Спроби дати визначення транспортної системи робили як радянські, так і сучасні українські вчені.

Так, на думку В. К. Андрєєва, транспортна система — це «взаємопов'язана організаційна структура підприємств та організацій, які спеціалізуються на перевезеннях вантажів та пасажирів (транспорт загального користування), а також самостійних підприємств та структурних ланок підприємств та виробничих об'єднань промисловості, будівництва та інших галузей народного господарства (відомчий транспорт)».

Г. П. Савичев розглядає Єдину транспортну систему як «сукупність різних видів громадського транспорту, об'єднаних єдиним державним плануванням, однорідними функціями із забезпечення потреб економіки в перевезеннях, єдиним уніфікованим правовим регулюванням».

В. М. Кондратьєв зазначає, що «Єдина транспортна система — це єдиний, заснований на використанні певного виду транспорту,

господарський комплекс, створений для планомірного ведення транспортно-господарської діяльності та управління нею, що складається з наділених господарською компетенцією та таких, що знаходяться у стійких зв'язках, ланках, одна з яких є центром системи, має майно та здатна діяти на основі госпрозрахунку».

Н. Ф. Лопатіна визначає транспортну систему як «сукупність усіх видів транспорту, що утворюють єдину транспортну систему, призначену здійснювати узгоджену (скоординовану) транспортну діяльність та керівництво нею, яка складається з наділених господарською компетенцією та таких, що знаходяться в стійких господарських зв'язках, ланок, які діють як господарські системи, очолювані транспортними міністерствами, або як господарські органи, очолювані іншими органами господарського керівництва».

Єдину транспортну систему, на думку Е. Ф. Демського, становить сукупність внутрішньо узгоджених, взаємопов'язаних, соціально однорідних транспортних засобів, які забезпечують організаційний і стабілізувальний вплив на виконання основних завдань у перевезеннях, що відображає їх структуру.

Н. Ващенко та А. Кублій розглядають транспортну систему як сукупність засобів перевезення, шляхів сполучення, засобів управління та зв'язку, технічні споруди, що забезпечують їх роботу.

Можна сказати, що Єдина транспортна система України (ЄТС) — це одна з галузей національної економіки, яка має складну інфраструктуру, складові частини якої взаємопов'язані та водночас існують відносно окремо одна від одної та взаємодіють у межах визначеної мети.

Фактично, Єдина транспортна система являє собою сукупність видів транспорту, які ефективно взаємодіють, незалежно від форми власності та відомчої підпорядкованості, — шляхів сполучення транспортних засобів (з виробничо-управлінським персоналом), що забезпечують вантажно-розвантажувальні роботи, перевезення людей і вантажів з використанням сучасних прогресивних технологій з метою найкращого задоволення попиту населення та вантажовласників на транспортні послуги.

У законодавстві України визначені головні складові транспортної системи. Відповідно до ст. 21 Закону України «Про транспорт», Єдину транспортну систему України становлять такі види транспорту:

- транспорт загального користування (залізничний, морський, річковий, автомобільний і авіаційний, а також міський електротранспорт, метрополітен), завдання якого — забезпечувати зв'язок між окремими галузями економіки, регіонами, виробництвом і споживачами. За його значенням та масштабами використання в транспортній системі України транспорту загального користування належить провідне місце;

- промисловий залізничний транспорт, що обслуговує, зазвичай, виробничі процеси на підприємствах (технологічні перевезення, вантажні та складські операції);

- відомчий транспорт;

- трубопровідний транспорт;

- шляхи сполучення загального користування.

У тій самій статті закону визначені основні завдання транспортної системи — «мати розгалужену інфраструктуру для надання всього комплексу транспортних послуг, у тому числі для складування і технологічної підготовки вантажів до транспортування, забезпечувати зовнішньоекономічні зв'язки України».

Кожен із зазначених видів транспорту створює певну підсистему з власною структурою, яку формують такі елементи:

- підприємства залізничного, морського, річкового, автомобільного, авіаційного та міського електротранспорту, що здійснюють господарську діяльність із надання послуг із перевезення пасажирів, багажу, вантажів; підприємства трубопровідного транспорту; підприємства промислового залізничного та відомчого транспорту;

- залізничні, морські, річкові, повітряні, автомобільні шляхи сполучення, трамвайні і троллейбусні колії та канатні дороги;

- засоби перевезення (рухомий склад залізничного, автомобільного та міського електротранспорту, судна, літаки, транспортні засоби підприємств, установ, організацій);

- пасажирські вокзали, залізничні станції, автовокзали, автостанції, порти, пристані, аеропорти, аеродроми;

- землі транспорту, захисні та укріплювальні насадження, берегоукріплювальні споруди, снігозахисні споруди, придорожні лісосмуги тощо;

- промислові, будівельні підприємства; підприємства промислового залізничного транспорту; судноремонтні, суднобудівні за-

води; ремонті заводи цивільної авіації; ремонтно-будівельні організації; ремонтно-експлуатаційні депо; заводи з ремонту рухомого складу та виготовлення запасних частин; підприємства зв'язку, споруди локомотивного, вагонного, колійного, вантажного, пасажирського енергетичного господарства та сигналізації; система управління повітряним рухом, навігаційного господарства; водопостачання, каналізації; гідротехнічні споруди тощо;

- науково-дослідні, проектно-конструкторські організації, навчальні заклади, технічні школи; заклади підготовки та перепідготовки кадрів, підвищення їх кваліфікації; кваліфікаційно-експертні заклади;

- підприємства, установи та заклади соціально-культурної галузі (зклади охорони здоров'я, фізичної культури та спорту, культури, дитячі дошкільні заклади); постачальницькі і торговельні підприємства; інші підприємства, установи та організації незалежно від форми власності, що забезпечують діяльність і розвиток транспорту.

За напрямками діяльності підприємства транспорту мають забезпечувати:

- потреби громадян, підприємств і організацій у перевезеннях;
- обслуговування пасажирів під час тривалих перевезень — забезпечення їх доброякісною питною водою, харчуванням, можливість задоволення інших біологічних потреб;

- якісне та своєчасне перевезення пасажирів і вантажів;
- виконання державних завдань (контрактів) щодо забезпечення потреб оборони та безпеки України;

- безпеку перевезень;
- безпечні умови перевезень;
- запобігання аваріям і нещасним випадкам, усунення причин виробничого травматизму;

- охорону навколишнього природного середовища від шкідливого впливу транспорту;

- права на пільги громадян щодо користування транспортом.

Транспортна система України складається з кількох відносно самостійних підсистем. Серед них виокремлюють:

- систему перевезень;
- систему закладів освіти;
- систему об'єктів сервісу;
- інформаційну систему.

Роботу транспортної системи забезпечує транспортна інфраструктура, що включає шляхи сполучення, рухомий склад, вантажно-розвантажувальне господарство транспортних та інших підприємств і організацій, які здійснюють навантаження, розвантаження і перевалювання вантажів (що їх перевозять усіма видами транспорту), а також засоби управління та зв'язку, різноманітне технічне обладнання.

Відносини між підприємствами різних видів транспорту під час перевезень пасажирів та вантажів визначають кодекси (статuti) окремих видів транспорту, а також укладені на їх основі договори (вузлові угоди). Розроблення та укладання вузлових угод відбувається в порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Координує діяльність усіх видів транспорту Міністерство інфраструктури України. Діяльність видів транспорту в межах регіонів координують комісії з координації роботи транспорту, утворені органами місцевої влади та самоврядування; вони діють відповідно до положення, затвердженого Кабінетом Міністрів України.

Державне управління в галузі транспорту здійснюють Міністерство транспорту України, місцеві Ради народних депутатів та інші спеціально вповноважені на те органи відповідно до своєї компетенції.

Органи управління транспортом повинні сприяти органам влади та місцевого самоврядування у виконанні ними своїх повноважень щодо соціального та економічного розвитку транспорту, спільно з ними здійснювати програми захисту навколишнього природного середовища, розробляти та проводити узгоджені заходи щодо забезпечення безперебійної роботи транспорту в разі стихійного лиха, аварій, катастроф і під час ліквідації їх наслідків, координувати роботу, пов'язану із запобіганням аваріям і правопорушенням на транспорті.

Органи влади та місцевого самоврядування в межах своїх повноважень також повинні надавати допомогу підприємствам і організаціям транспорту в поліпшенні використання транспортних засобів відправниками (одержувачами) вантажів і розвитку (зокрема на пайових засадах) будівельної індустрії, об'єднувати кошти підприємств, організацій, колективних сільськогосподарських підприємств, селянських (фермерських) господарств, кооперативів (за їх згоди), а також бюджетні та позабюджетні кошти для вдоско-

налення транспортної мережі, будівництва вокзалів, шляхопроводів та інших об'єктів транспорту; організувати взаємодію різних видів транспорту з метою ефективнішого їх використання.

Транспортні засоби є джерелом підвищеної небезпеки для життя та здоров'я людей через можливі дорожньо-транспортні пригоди, шкідливі викиди, транспортний дискомфорт, споживання природних ресурсів. Водночас транспортні засоби сприяють позитивним соціально-економічним та морально-психологічним ефектам.

До позитивних впливів транспортного засобу можна віднести:

- розвиток торгівлі, політичних, культурних зв'язків, розширення контактів;
- стимулювання науково-технічного прогресу та сприяння створенню додаткових робочих місць;
- участь у виробничих процесах і, як наслідок, скорочення інноваційних циклів виробництва товарів;
- надання почуття свободи та незалежності індивіду;
- розширення можливостей для життя у сприятливих умовах;
- збільшення життєвого простору окремого індивіда;
- підвищення доступності соціально-побутових послуг для споживачів;
- задоволення потреби споживачів у широкому асортименті товарів;
- надання почуття радості від комфорту і зручностей за несприятливих погодних умов.

До негативних впливів транспортного засобу відносять:

- порушення газової та енергетичної рівноваги в атмосфері;
- виснаження ресурсів атмосфери, корисних копалин, прісної води;
- знищення живих організмів у дорожньо-транспортних пригодах;
- отруєння біологічних ресурсів, зокрема рослин, тварин та людини;
- посилення стресових навантажень учасників руху;
- зменшення життєвого простору за рахунок відчуження територій;
- скорочення біологічної продуктивності ландшафтів;
- порушення гармонії міської забудови та сільського ландшафту.

На рис. 1.5 схематично показані головні види негативного впливу транспортного засобу на довкілля в процесі реалізації його життєвого циклу, від виробництва чорних і кольорових металів, палив та мастил до його утилізації.

Навколишнє природне середовище зазнає впливу не тільки транспортних засобів, але й усього транспортного комплексу. Основні види впливу транспортного комплексу на довкілля наведено на рис. 1.6.

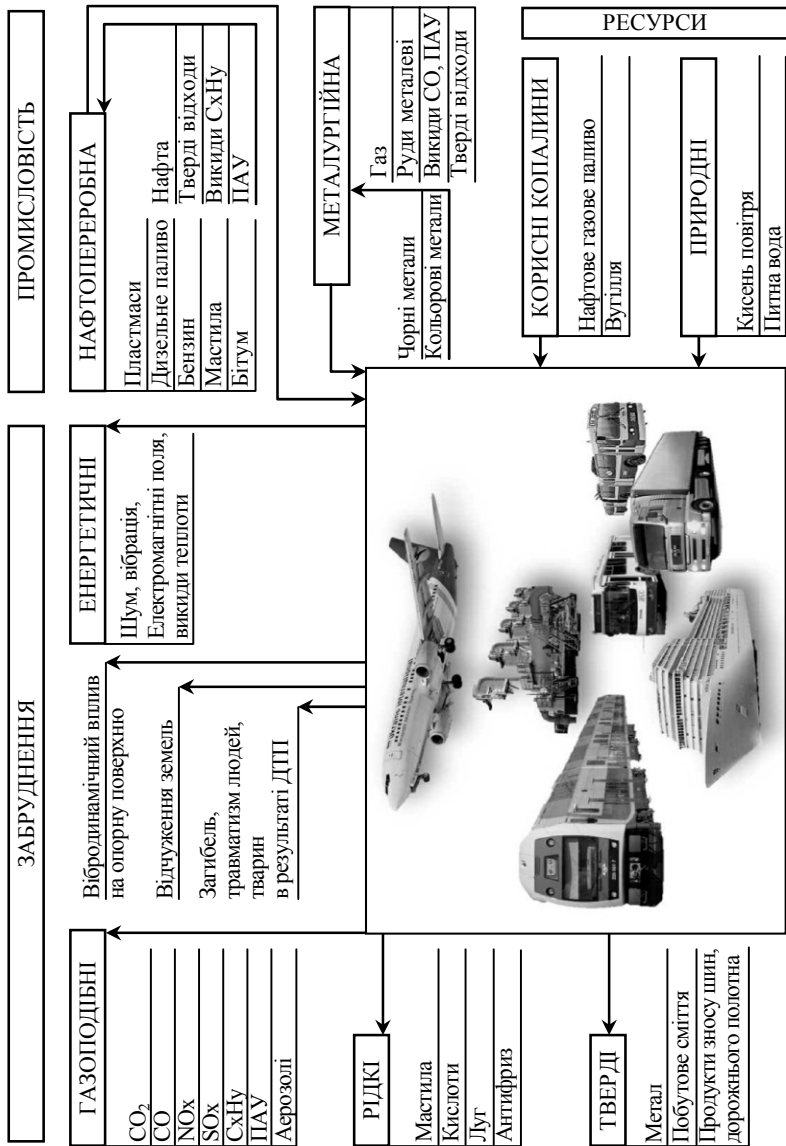


Рис. 1.5. Головні види негативного впливу транспортного засобу на НПС

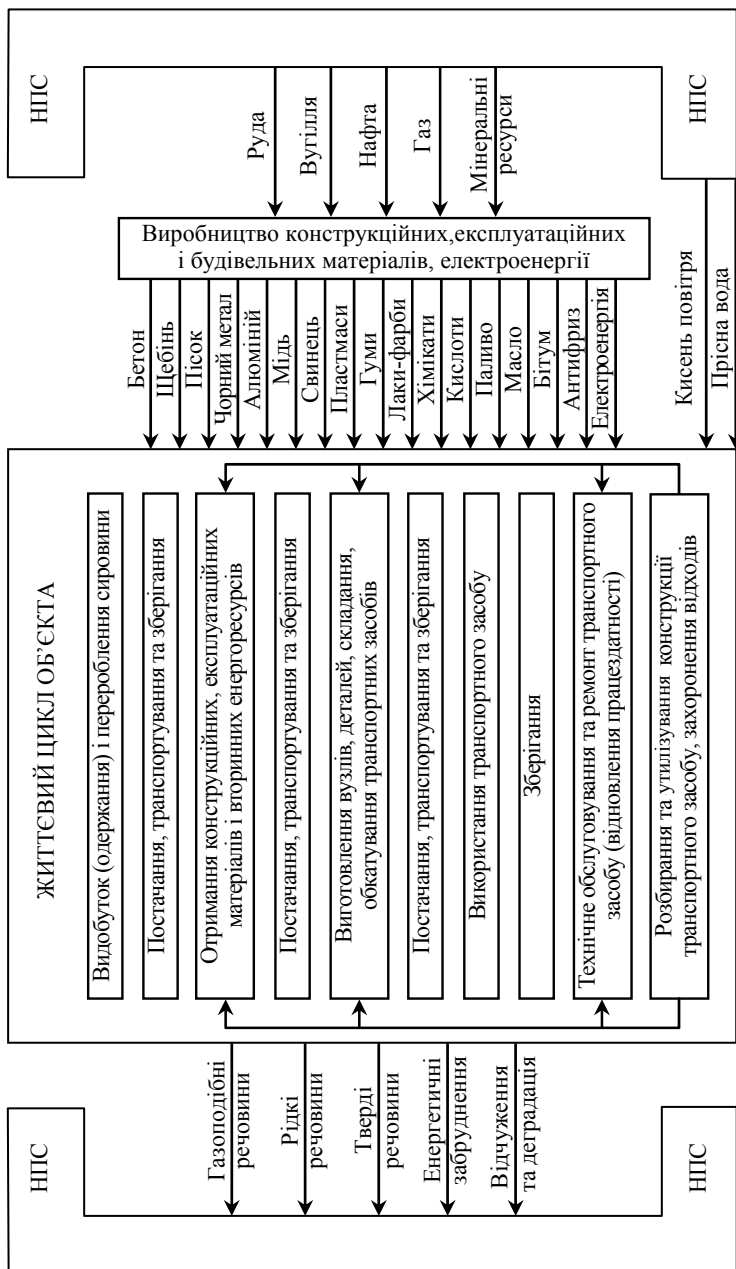


Рис. 1.6. Головні види негативного впливу транспортного комплексу на НПС

Серед найголовніших видів впливу транспортного комплексу можна назвати:

- відчуження площ територій під шляхопроводи та об'єкти транспортної інфраструктури, ерозійні процеси, осушення, вирубування лісів, кар'єрна розробка будівельних матеріалів;
- споживання природних ресурсів; серед них: нафтопродукти та природний газ для виробництва палива та мастильних матеріалів; вода для систем охолодження, для миття транспортних засобів, для виробничих і побутових потреб транспортних підприємств; повітря для забезпечення процесів спалювання палива;
- технологічне і транспортне забруднення шкідливими речовинами, шумом, вібраціями, надлишковою теплотою, електромагнітним та іонізуючим випромінюваннями довкілля (повітря, води, ґрунту, біоти) підприємствами транспорту та дорожнього господарства, дорогами як лінійними спорудами (транспортними потоками).

Класифікацію впливів різних видів транспорту на різні компоненти біосфери наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Класифікація впливів різних видів транспорту на компоненти біосфери

Об'єкти впливу				
Атмосфера	Гідросфера	Літосфера	Флора та фауна	Людина
<i>Автомобільний транспорт</i>				
Забруднення повітря викидами C_xH_y , NO_x , C , CO , CO_2	Засолення та мінералізація вод, їх забруднення нафтопродуктами	Засолення ґрунтів, їх забруднення органічними мастилами, розчинниками	Порушення ґрунтового покриву, забруднення придорожніх смуг	Скорочення тривалості життя, онкологічні захворювання та захворювання органів дихання
<i>Залізничний транспорт</i>				
Забруднення повітря викидами C_xH_y , NO_x , C , CO , SO_2 , золи, пилу	Забруднення вод нафтопродуктами, смолами, фенолами, важкими металами	Забруднення ґрунтів нафтопродуктами, неочищеними стоками, розчинниками	Знищення лісів та сільгоспугідь, перешкодження шляхам міграції тварин	Зменшення професійного довголіття, хронічні професійні захворювання
<i>Водний транспорт</i>				
Забруднення повітря викидами C_xH_y , NO_x , C , CO , SO_2	Забруднення вод нафтовмісними стоками, господарськими побутовими стоками, твердими та харчовими відходами	Забруднення прибережних смуг нафтою, нафтопродуктами та органічними відходами	Зниження біопродуктивності морів і річок	Професійні захворювання

Закінчення табл. 2.1

Об'єкти впливу				
Атмосфера	Гідросфера	Літосфера	Флора та фауна	Людина
<i>Повітряний транспорт</i>				
Забруднення повітря викидами C _x H _y , NO _x , C, CO, SO ₂ , твердих частинок	Забруднення вод нафтопродуктами	Забруднення ґрунтів біля аеродромів нафтопродуктами, органічними та неорганічними викидами	Зменшення чисельності фауни	Захворювання органів слуху, професійні захворювання
<i>Трубопровідний транспорт</i>				
Забруднення повітря газоподібними органічними викидами	Забруднення вод перекачуваними органічними речовинами	Забруднення ґрунтів перекачуваними продуктами та продуктами корозії труб	Руйнація геобіоценозів, перешкодження шляхам міграції тварин	Отруєння перекачуваними речовинами, професійні захворювання через шумові навантаження

Заходи, що дають змогу зменшити негативний вплив транспортного комплексу на довкілля:

- удосконалення нормативно-правової бази для забезпечення екологічної безпеки (стійкого розвитку) промисловості і транспорту;
- створення екологічно безпечних конструкцій об'єктів транспорту, експлуатаційних, конструкційних, будівельних матеріалів, технологій їх виробництва;
- розроблення ресурсозберігальних технологій захисту довкілля від транспортних забруднень;
- розроблення алгоритмів і технічних засобів моніторингу довкілля на транспортних об'єктах і прилеглих до них територіях, методів управління транспортними потоками для збільшення пропускної здатності дорожньої та вулично-дорожньої мережі у великих містах;
- удосконалення системи управління природоохороною діяльністю на транспорті.

Екологічні обмеження необхідно враховувати на всіх етапах життєвого циклу об'єктів транспорту (обґрунтування інвестицій, проектування, виготовлення, будівництво, реконструкція, ремонт, експлуатація, демонтаж), створення дорожньо-транспортної техні-

ки, а також під час оцінювання перспектив розвитку транспортної системи. Ці обмеження особливо значущі на природоохоронних, урбанізованих територіях.

Коло проблем і шляхи їх вирішення пов'язані з раціональним використанням природних ресурсів, захисту атмосфери, водойм та водотоків, ґрунту, селітебних територій та місць мешкання тварин від негативного впливу транспортного комплексу, створення замкнених промислово-утилізаційних технологій у транспортній галузі.

1.2. Історія розвитку авіатранспортного комплексу

Авіація, що в ХХ ст. вважалася далекою мрією, ледь з'явившись, стала невіддільною частиною дійсності. За століття свого існування вона значно змінила як темп, так і сам характер життя людей. Завдяки їй людина одержала одну з найбільших своїх перемог над Простором і Часом. Подорожі, на які в минулому витрачали місяці, і навіть роки, наші сучасники, завдяки потужним повітряним лайнерам, здійснюють за лічені години.

Відомі американські винахідники, брати Райт, перший політ на побудованому ними літаку здійснили 17 грудня 1903 р. А вже 5 червня 1910 р. на Сирецькому іподромі в Києві відбувся перший політ вітчизняного літака. Побудував апарат і літав на ньому професор Київського політехнічного інституту О. С. Кудашев.

За кілька місяців перед тим, 21 березня 1910 року в Одесі відбувся перший публічний політ авіатора М. Н. Єфімова (1881–1919) на літаку «Фарман-4». У цей день було виконано п'ять польотів, причому два з них — з пасажирами. За період 1909–1912 років тільки київські ентузіасти створили близько 40 різних типів літаків.

Згодом у Києві з'явилися два основних центри повітроплавання: Сирецький — військовий і Куренівський — цивільний. 9 вересня 1913 року на Сирецькому аеродромі поручник П. М. Нестеров на літаку «Ньюпор-4» перший у світі виконав «мертву петлю», названу згодом його ім'ям. Ігор Іванович Сікорський і його колеги в 1910 році побудували літак БІС-1 (Билінський, Йордан, Сікорський) із двигуном потужністю 15 к.с., пізніше БІС-2, з потужнішим двигуном — 25 к.с. Польоти в той час відбувалися прямі на висоті 1–2 м тривалістю 1–2 хв.

Згодом І. І. Сікорський побудував та випробував ще кілька літаків, показавши рекордні на той час результати. Так, на літаку

С-5 він у 1911 році установив одразу чотири всеросійських рекорди: висота польоту — 500 м, дальність — 85 км, тривалість — 52 хв, швидкість — 125 км/год. Того самого року на літаку 3-6 він установив світовий рекорд швидкості з екіпажем 3-х пілотів — 111 км/год. А в березні 1912 року на літаку С-6А виконав рекордний політ уже з 5-ма пілотами на борту зі швидкістю 106 км/год.

На початку ХХ ст. в Україні сформувалися три центри розвитку авіабудування та випробування літаків у польоті: Київ, Одеса та Харків. Перші польоти цивільних літаків у Києві й Одесі стали поштовхом до планомірної підготовки авіаційних фахівців у Київському політехнічному та Харківському технологічному інститутах.

Початком регулярних авіаперевезень в Україні можна вважати перевезення суднами цивільної авіації товариства «Укрвоздухпуть», перше з яких датується 25-м травня 1924 року, коли почали працювати дві лінії: Харків–Полтава–Київ і Харків–Кіровоград–Одеса. Літаки курсували всього двічі на тиждень.

У 1924 році повітряною лінією Харків–Київ виконали 62 рейси і 31 рейс на авіалінії Харків–Одеса. Уже в 1927 році у своєму розпорядженні «Укрвоздухпуть» мав 10 обладнаних аеродромів і 15 посадкових майданчиків.

Регулярне застосування літаків на авіахімічних роботах датується літом 1925 року проти італійської сарани в Ізюмському окрузі Харківської області.

Післявоєнний період характеризує стрімкий розвиток цивільної авіації. Наприклад, уже на кінець 1945 року в Україні діяло 10 союзних і республіканських повітряних ліній, 17 міжобласних і 51 внутрішньообласна. Обсяги перевезень пасажирів, порівняно з довоєнним рівнем, зросли більш ніж удвічі.

У 1964 році почав функціонувати найбільший аеропорт України — Бориспіль з аеровокзальним комплексом 107 тис. м² і пропускною здатністю 1600 пасажирів на годину. На 1991 рік до складу Українського управління цивільної авіації входило 36 аеропортів, загальний парк повітряних суден перевищував 1500 літаків, зокрема сучасних літаків Ту-154, Ту-134, Як-42, Ан-24 та ін.

Після 1991 року обсяги перевезень значно скоротилися. Стрімкий спад попиту на перевезення літаками в умовах економічної нестабільності пов'язаний зі зниженням рухомості населення.

За роки незалежності в Україні створена принципово нова мережа авіаліній — міжнародна. Укладені двосторонні Угоди про міжнародне повітряне сполучення з багатьма країнами світу. Україна є членом Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО).

1.3. Характеристика сучасного авіаційного транспорту України

Законодавством визначено, що авіаційний транспорт включає підприємства повітряного транспорту, що здійснюють перевезення пасажирів, вантажів, багажу, пошти, аерофотозйомки, сільськогосподарські роботи, а також аеропорти, аеродроми, аероклуби, транспортні засоби, системи управління повітряним рухом, навчальні заклади, ремонтні заводи цивільної авіації та інші підприємства, установи та організації незалежно від форм власності, що забезпечують роботу авіаційного транспорту (ст. 32 Закону України «Про транспорт»).

До земель авіаційного транспорту належать землі, надані в користування під: аеропорти, аеродроми, відокремлені споруди (об'єкти управління повітряним рухом, радіонавігації та посадки, очисні та інші споруди), службово-технічні території з будівлями та спорудами, що забезпечують роботу авіаційного транспорту; вертольотні станції, включно з вертольотодромами, службово-технічними територіями з усіма будівлями та спорудами; ремонтні заводи цивільної авіації, аеродроми, вертольотодроми, гідроаеродроми та інші майданчики для експлуатації повітряних суден; службові об'єкти, що забезпечують роботу авіаційного транспорту.

До складу державної системи використання повітряного простору України входять органи виконавчої влади, які забезпечують реалізацію державної політики у галузі використання повітряного простору України, організації та підприємства, на які покладені функції щодо організації повітряного руху, радіотехнічного, аеронавігаційного та метеорологічного забезпечення авіації, підготовки та публікації нормативних документів з питань аеронавігації [74], а також підготовки фахівців у галузі використання повітряного простору та їх медичної сертифікації.

Серед основних видів робіт, які виконує повітряний транспорт, можна назвати такі:

- перевезення пасажирів на внутрішніх та міжнародних лініях;

- перевезення вантажів на внутрішніх та міжнародних маршрутах;
- перевезення пошти;
- санітарні перевезення;
- виконання сільськогосподарських робіт (внесення мінеральних добрив, захист від шкідників тощо);
- здійснення геологічних розвідувань;
- виконання аерофотознімальних робіт;
- обслуговування науково-дослідних експедицій;
- обслуговування рибпромислових суден (пошуки зграй риби у морі);
- проведення суден крізь лід;
- монтаж ліній електропередач;
- монтаж різних конструкцій;
- будівництво та реконструкція висотних об'єктів;
- будівництво трубопроводів;
- будівництво у важкодоступних районах;
- боротьба з лісовими пожежами;
- зв'язок з високогірними метеостанціями;
- спостереження за дорожнім рухом.

На частку найбільшого аеропорту України «Бориспіль» середньо припадає 52 % перевезень, регіональних аеропортів (Одеса, Львів, Сімферополь, Донецьк, Дніпро, Київ, Харків) — 46 %, інших аеропортів — 2 % (рис. 1.7).

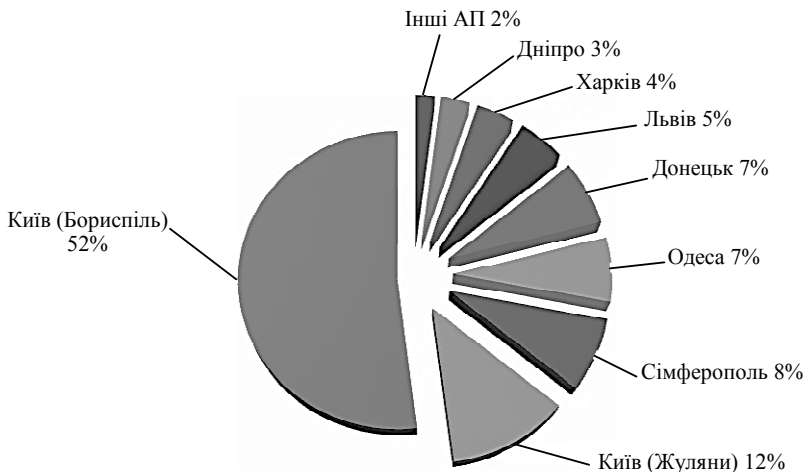


Рис. 1.7. Питома вага аеропортів України в загальних обсягах пасажирських перевезень авіакомпаніями

У 2001 році завершили реконструкцію льотної зони № 1 аеропорту «Бориспіль». Увели в експлуатацію нову злітно-посадкову смугу завдовжки 4000 м, яка за технічними характеристиками відповідає європейським стандартам та вимогам ІСАО і може приймати усі види повітряних суден без обмежень за будь-яких погодних умов.

Організацію та порядок використання повітряного простору визначають Повітряний кодекс України та Положення про використання повітряного простору України, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 29 березня 2002 року № 401.

Одна з найважливіших проблем розвитку авіаційного транспорту — підвищення безпеки, економічності та екологічності повітряних перевезень.

1.4. Технічно-експлуатаційні властивості авіаційного транспорту

Технічну основу повітряного транспорту становлять: парк повітряних кораблів (ПК), до якого входять літаки та вертольоти; аеропорти; повітряні лінії (траси).

Літак — це апарат, політ якого стає можливим завдяки взаємодії сили тяги двигуна з піднімальною силою крила, що виникає під час руху. Літак складається із: планера, тягових двигунів, шасі та комплексу агрегатів, приладів, які забезпечують функціонування всіх систем літака та керування.

Вертоліт — апарат, піднімання і політ якого відбуваються за допомогою повітряного гвинта з лопатями, закріпленими на вертикальному валу.

Аеродром — це ділянка земної поверхні (або водної для гідроаеродрому), включно з розташованими на ній будівлями, спорудами й обладнанням, яка повністю або частково призначена для відправлення із цієї поверхні, прибуття на неї, руху по ній, стояння та обслуговування на ній ПК.

Аеровокзал слугує для раціональної організації переміщення пасажирів та вантажу під час пересадок з наземних засобів сполучення на повітряний транспорт та навпаки [74].

Єдиний універсальний підхід до класифікації аеропортів цивільної авіації відсутній. Класифікація, яку найчастіше застосовують зараз, відображає, головним чином, експлуатаційні ознаки аеропортів.

В основу такої класифікації покладено річний обсяг пасажирських перевезень, який розуміють як сумарну кількість усіх пасажирів, які прилітають і відлітають, включно з пасажирами транзитних рейсів; призначення аеропортів, що відображає їх адміністративно-територіальне розташування та характер перевезень.

Така класифікація є експлуатаційною і не відбиває достатню кількість ознак, за якими можна визначити завдання та цілі аеропортів із позиції їх функціонування.

В Україні на сьогодні аеропорти класифікують за такими основними ознаками:

- категоріями;
- статусом;
- спроможністю приймати певні типи повітряних суден;
- за річним обсягом пасажирів.

За категоріями аеропорти України поділяють на аеропорти:

– державного значення — Державний міжнародний аеропорт «Бориспіль»;

– регіональні — «Сімферополь», «Одеса», «Донецьк», «Харків», «Львів», «Дніпро» та ін.;

– місцевого значення, розташовані в обласних центрах, великих промислових містах і курортних зонах.

За статусом аеропорти поділяють на:

– міжнародні, з яких здійснюються польоти в країни далекого та близького зарубіжжя;

– внутрішні, польоти з яких здійснюють тільки в межах України.

За спроможністю приймати певні типи повітряних суден аеропорти поділяють на:

– ті, що можуть приймати будь-які цивільні повітряні судна без обмежень (таких аеропортів в Україні — два, це — «Бориспіль» та «Сімферополь»);

– спроможні приймати літаки I класу і нижче;

– спроможні приймати літаки II класу і нижче;

– спроможні приймати літаки не вище як III класу.

Аеропорти також класифікують за критерієм річного обсягу пасажирських перевезень, тобто сумарною кількістю всіх пасажирів, що відлітають і прилітають, а також пасажирів транзитних рейсів (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Класи аеропортів перевезення

Клас аеропорту	Річна кількість пасажирів
1	Від 4 до 7 млн осіб
2	Від 2 до 4 млн осіб
3	Від 0,6 до 2 млн осіб
4	Від 150 до 600 тис. осіб
5	Від 25 до 150 тис. осіб

На території аеропортів, зазвичай, розміщують такі виробничі об'єкти:

- авіатранспорт;
- службу спеціального транспорту, включно з вантажними та спеціальними машинами, автобусами, легковими та службовими спеціальними машинами, постом зварювання, фарбування, акумуляторною дільницею;
- ремонтно-будівельне управління з постом зварювання;
- службу головного механіка з постом зварювання, фарбування, акумуляторною дільницею;
- службу теплових інженерних систем теплозабезпечення;
- базу електрорадіотехнічного забезпечення літаків;
- аеродромну службу;
- авіаційно-технічну базу, до складу якої належить пост зварювання, акумуляторна дільниця, пост фарбування та миття авіаобладнання;
- службу паливно-мастильних матеріалів (ПММ), до складу якої входить автозаправна станція, склад ПММ.

Додатково тут можуть бути розміщені:

- каси з продажу авіаквитків;
- представництва авіакомпаній;
- пункт митного контролю;
- службу перевезень;
- зал для офіційних делегацій;
- поштове відділення;
- авіаповідку;
- камери схову;
- пункт обміну валют;
- станцію технічного обслуговування автомобілів.

Забезпечення безпеки та регулярності польотів ПК, їх аеродромно-технічне забезпечення пов'язане з використанням великої кількості спецавтотранспорту, агрегатів і установок, автотракторної техніки.

Комплекс робіт, виконуваних за допомогою цієї техніки, включає:

- буксирування ПК;
- заправлення їх паливом, мастилом, технічними рідинами;
- зарядження рідким чи газоподібним киснем, стисненим повітрям і азотом;
- перевірку електро- і радіоустаткування, пневматичних і гідравлічних систем;
- обслуговування та підготовку до польотів ПК, злітно-посадкової смуги, рулильних доріжок, місць стоянок;
- оброблення вантажів, багажу та пошти;
- транспортування пероном.

Спецавтотранспорт, використовуваний в аеропорту, поділяють на чотири групи (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Групи спецавтотранспорту аеропорту

Група	Спецавтотранспорт
I	Аеродромні тягачі, повітрязаправники
II	Аеродромні водозаправники, аеродромні асенізаційні машини, аеродромні маслозаправники, аеродромні киснезаправники
III	Установки перевірки гідросистем, аеродромні кондиціонери, авіаційні підйомники, аеродромні підйомні майданчики, аеродромні електроагрегати
IV	Аеродромні підігрівачі, машини для нанесення антиобліднювальних рідин, установки повітряного запуску авіадвигунів

До засобів посадки літаків належать радіомаякові системи та світлосигнальні пристосування. Для посадки літаків за будь-яких метеоумов застосовують апаратуру, яка базується на широкому застосуванні сучасних радарів та різних автоматів.

Основними засобами спостереження на базі первинних радіолокаційних станцій є оглядові радіолокатори. Усі радіолокаційні позиції мають екстрактори радіолокаційної інформації та

передають на автоматизовану систему керування повітряним рухом цифрову інформацію виділеними каналами зв'язку. Диспетчерські пункти (сектори) безпосереднього керування повітряним рухом забезпечені радіоприймачами та радіопередавачами. На кожній із частот працюють основний та резервний комплекти радіопередавачів і радіоприймачів.

Основним елементом наземної навігаційної інфраструктури України є радіомаяк або привідна радіостанція.

Метеорологічне забезпечення цивільної авіації в Україні здійснюють аеродромні метеорологічні органи Державної гідрометеорологічної служби.

Основними джерелами забруднення НПС серед авіапідприємств є аеропорти з приписаною до них технікою. Аеропорти мають наземні та повітряні джерела забруднення.

Головні локальні проблеми, що виникають у результаті експлуатації авіаційного транспорту, зводяться до акустичного, електромагнітного, теплового забруднення, а також пов'язані з викидами та скидами шкідливих хімічних речовин у районах розташування авіапідприємств.

■ Розділ 2

ВПЛИВ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

2.1. Вплив наземних джерел авіаційного транспорту на навколишнє природне середовище

Авіація, порівняно з іншими видами транспорту, є специфічним забруднювачем з досить широким спектром впливу на якість довкілля.

Негативний вплив авіаційного транспорту на довкілля є як глобальним, так і локальним за характером.

Глобальний вплив полягає у формуванні парникового ефекту та руйнуванні озонового шару.

Наземні джерела забруднення умовно поділяють на такі, що знаходяться всередині аеропорту, й ті, що розташовані за його межами. До останніх належать, насамперед, установки теплоенергетики, які працюють на різних видах місцевого палива, тому й характер забруднень визначають види палива, способи його спалювання та шляхи відведення викидів.

До внутрішньопортових джерел забруднень НПС належать:

- вентиляційні системи, які застосовують на окремих ділянках обслуговування авіаційної техніки;
- підприємства авіапаливозабезпечення;
- спецавтотранспорт.

За необхідності, коли повітря, що видаляється від робочих місць, містить шкідливі речовини у великих кількостях, перед викидом в атмосферу його очищують у пиловловлювальних і газочисних установках.

В атмосферне повітря із виробничих приміщень та окремих об'єктів аеропорту надходять:

- пари нафтопродуктів, розчинників, лакофарбувальних матеріалів, лугів, кислот;
- аерозолі водних розчинів їдкою, вуглекислою та фосфорно-кислою натрію, сірчистого ангідриду, оксидів азоту, окису вуглецю, пилу.

Кількість шкідливих речовин, що надходять в атмосферне повітря з виробничих приміщень аеропорту чи авіаремонтного заводу через вентиляційні системи, може перевищувати граничнодопустимі значення, які спричиняють перевищення граничнодопустимих концентрацій цих шкідливих речовин.

Найчастіше це відбувається за групового розташування вентиляційних шахт, коли виникає ефект сумачії шкідливих викидів, і навіть утворюють нові шкідливі речовини більшої токсичності.

2.2. Вплив повітряних джерел авіаційного транспорту на навколишнє природне середовище

Повітряні судна забруднюють атмосферу внаслідок викидання шкідливих речовин з відпрацьованими газами авіаційних двигунів.

Літаки під час польоту переміщуються з одного аеропорту в інший, забруднюючись у атмосфері в глобальних масштабах, тобто значне забруднення має місце як у зонах аеропортів, так і на трасах польоту. Причому, якщо на трасах польоту (на висоті 8–12 км) небезпека від цього забруднення незначна (польоти літаків на великій висоті та з великою швидкістю зумовлюють розсіювання продуктів згоряння у верхніх шарах атмосфери та на великих територіях, що знижує рівень їх впливу на живі організми), то в зоні аеропорту нехтувати таким забрудненням не можна.

Гази в атмосферне повітря викидають сопла та вихлопні патрубки двигунів. Цей процес називають *емісією авіаційних двигунів*.

Гази, що утворилися внаслідок роботи двигунів авіаційного транспорту, становлять 87 % від усіх викидів цивільної авіації, включно також з викидами спецавтотранспорту та стаціонарних джерел.

Найбільш несприятливими режимами роботи є малі швидкості та «марний хід» двигуна, коли в атмосферу викидають забруднювальні речовини в кількостях, які значно перевищують викиди на навантажувальних режимах.

2.2.1. Загальна характеристика викидів шкідливих речовин літаками

Хімічний склад викидів унаслідок спалювання палива здебільшого залежить від виду й якості палива, технології виробництва, способу спалювання в двигуні та технічного стану двигуна.

Основні компоненти відпрацьованих газів сучасних авіаційних двигунів, які забруднюють атмосферу:

- оксиди сірки SO_x ;
- оксиди азоту NO_x ;
- оксид вуглецю CO ;
- вуглеводні, які не згоріли, C_xH_y (метан CH_4 , ацетилен C_2H_2 , етан C_2H_6 , бензол C_6H_6 та ін.);
- альдегіди (формальдегід $HCHO$, акролеїн $CH_2=CH=CHO$, оцтовий альдегід CH_3CHO та ін.);
- сажа (дрібнодисперсні частинки чистого вуглецю), яка виділяється у вигляді шлейфу за соплами двигунів під час зльоту літака (сажі виділяється загалом небагато).

Уміст NO_x у відпрацьованих газах авіаційного двигуна залежить від:

- температури суміші в камері згоряння (чим вона вища, тим більше утворюється NO_x), а вона максимальна (2500–3000 K) на зльотному режимі;
- часу перебування суміші в камері згоряння (що він більший, то більше утворюється NO_x), а це має місце на невеликих швидкостях літака.

Тобто, максимальний викид NO_x відбувається на зльотному режимі двигуна та режимах, близьких до нього (під час зльоту літака і під час набирання ним висоти польоту).

Вуглеводні (C_xH_y) — основний компонент рідких і газоподібних палив. Авіаційні палива — бензин, гас — відрізняються за вмістом парафінових, нафтових та ароматичних вуглеводнів, а також сполук сірки.

У пришляховому просторі під час зльоту літака приблизно 50 % викидів у вигляді мікрочастинок, серед яких — багато важких металів, одразу розсіюється на прилеглих до аеропорту територіях. Решта протягом кількох годин знаходиться в повітрі у вигляді аерозолів, а потім також осідає на ґрунт.

Кожний розроблений двигун (для літаків) перед запусканням у серійне виробництво проходить серію випробувань (сертифікацію), серед яких є дослідження на екологічну безпечність, тому Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) розробила жорсткі норми на емісію авіаційних двигунів.

Кількісною характеристикою викидів шкідливих речовин авіаційними двигунами є індекс емісії (EI), який показує, скільки грамів

даної шкідливої речовини викидають у повітря під час спалювання 1 кг пального в двигуні. Розмірність індексу емісії — г/кг. Існують EICO, EIC_xH_y, EINO_x та ін.

Надалі розглядатимемо тільки ці три інгредієнти, адже вони найбільше забруднюють атмосферу, і викиди їх найбільші.

Індекс емісії характеризує якість організації процесу згоряння в камері згоряння кожного зразка двигуна; це пов'язано з конструктивними й експлуатаційними характеристиками камери. Тому його часто називають *емісійною характеристикою двигуна*.

Індекси емісії визначають у процесі їх сертифікаційних випробувань. Уміст інгредієнтів CO та C_xH_y у відпрацьованих газах авіадвигунів зумовлений неповним згорянням палива в двигуні, а цей процес, своєю чергою, залежить від характеристики його параметрів згоряння, тобто, величини коефіцієнта повноти згоряння η та режиму роботи двигуна.

З метою створення єдиного підходу до нормування викидів забруднювальних речовин, ІКАО ввело поняття *стандартного злітно-посадкового циклу*, який включає всі операції літака з моменту запускання двигунів до набирання висоти 1000 м, а також з моменту заходу на посадку з висоти 1000 м до зупинення двигуна після посадки літака. Параметри злітно-посадкового циклу ІКАО наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Середньостатистичні характеристики
злітно-посадкового циклу літаків цивільної авіації**

Номер режиму	Режим роботи двигуна	Відносна тяга, \bar{R}	Тривалість режиму, t , хв
1	Малий газ (марний хід) під час руління перед зльотом	0,07	15
2	Злітний режим	1	0,7
3	Режим набирання висоти 1000 м	0,85	2,2
4	Режим заходження на посадку	0,3	4
5	Малий газ (марний хід) під час руління після посадки	0,07	7

Значення відносної тяги двигунів на етапах злітно-посадкового циклу є середньостатистичними для світового парку літаків цивільної авіації, а значення тривалості етапів зорієнтоване на великі міжнародні аеропорти.

Відносну тягу двигуна визначають за формулою:

$$\bar{R} = \frac{R}{R_0},$$

де R — тяга двигуна за заданого режиму; R_0 — злітна тяга двигуна (максимальна тяга за злітного режиму).

Злітна тяга двигуна — це тяга, що забезпечує піднімання у повітря необхідної та встановленої для даного типу судна ваги.

Очевидно, що найтривалішим і найшкідливішим з екологічного погляду є режим малого газу (відносна тяга становить 3...9 % від її максимального значення). Такі малі значення відносної тяги двигуна мають місце під час руління перед зльотом і після посадки, а також під час прогрівання двигуна після запускання.

Максимальна повнота згоряння палива в двигуні має місце на розрахунковому режимі — злітному (режимі максимальної тяги двигуна). На цьому режимі сучасні двигуни мають $\eta = 0,97 - 0,99$, ($\eta = 1,0$ за абсолютно повного згоряння, чого в дійсності досягти неможливо). На всіх інших режимах η нижча, тобто повнота згоряння менша ($\eta = 0,75 - 0,85$), двигун в атмосфері, викидаючи більше продуктів неповного згоряння, відповідно, збільшується забруднення повітря.

Очевидно, що викиди шкідливих речовин (емісія авіадвигуна) залежать від режиму його роботи і тривалості роботи на цьому режимі. На рис. 2.1 показана зміна емісії трьох зазначених компонентів забруднень від режиму роботи авіадвигуна.

Емісія буде неоднаковою в зоні аеропорту і під час польоту за маршрутом, адже двигуни в цих випадках працюють на принципово різних режимах.

Як видно з наведених табл. 2.1 та рис. 2.1, забруднення в зоні аеропорту є більшим (на маршруті значення відносної тяги коливається в межах 0,6–0,8). Окрім того, локальне забруднення приземного шару повітря в зоні аеропорту, де працює багато людей, є концентрованішим і стійкішим, ніж загальне забруднення верхніх шарів тропосфери на маршруті польоту, позаяк робота двигунів є стабільною на великих швидкостях, а забруднювальні речовини швидко розсіюються.

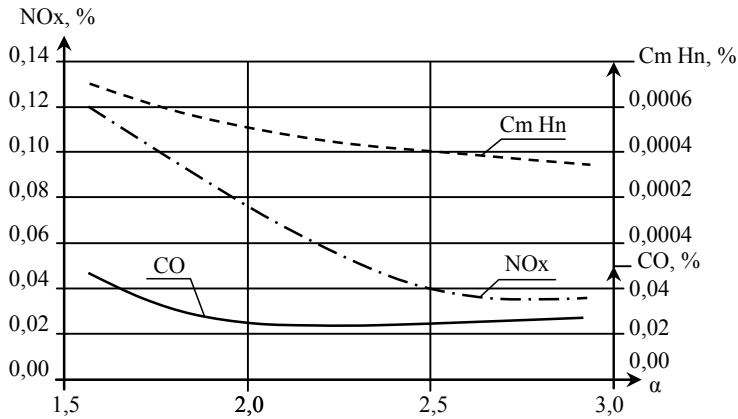


Рис. 2.1. Залежність емісії шкідливих речовин від режиму роботи типового двигуна

Зону аеропорту розуміють як простір, обмежений висотою 1000 м і розмірами аеродрому. Тому розрахунок емісії двигунами ПК у зоні аеропорту є важливішим і йому слід надавати більшої уваги.

2.2.2. Викиди шкідливих речовин маршевыми двигунами літаків

Завдання розрахунку емісії двигуна зводиться до визначення маси кожного інгредієнта, викинутого з двигуна за певний час його роботи.

Знаючи ЕІ даного типу забруднювальної речовини і час роботи одного двигуна, можна обчислити масу викидів цієї речовини. Зокрема, для злітно-посадкового циклу масу викидів j -ї речовини визначають за формулою (2.1):

$$M_j = \sum_i EI_{ji} G_{ni} \tau_i, \text{ [Г]}, \quad (2.1)$$

де G_{ni} — витрата палива двигуном на i -му режимі стандартного злітно-посадкового циклу, кг; τ_i — час роботи двигуна на i -му режимі, с.

Величину витрати палива G_{ni} визначають за характеристиками двигуна за формулою:

$$G_{ni} = \frac{C_{\text{пит.}i} R_i}{3600}, \text{ [кг/с]},$$

де $C_{\text{пит.}i}$ — питома витрата палива на i -му етапі злітно-посадкового циклу, кг/с·кН; R_i — тяга, яку розвиває двигун на i -му режимі, кН.

Поділивши обидві частини виразу для M_j на R_0 (тяга двигуна на злітному режимі — величина, відома з документації, зокрема, з формуляра двигуна), отримаємо співвідношення для контрольного параметра емісії, який визначають за формулою:

$$\frac{M_j}{R_{\text{взл}}} = \frac{1}{3600} \sum_i EI_{ji} C_{\text{уд.}i} \bar{R}_i \tau_i, \text{ [г/кН]}.$$

Формула для визначення контрольного параметра емісії дає змогу враховувати зміну емісії протягом експлуатації двигуна, оскільки зі збільшенням його напрацювання відбувається зношування вузлів і, як результат, погіршується ККД, що призводить до збільшення питомої витрати палива.

Контрольний параметр емісії характеризує «рівень шкідливості» авіаційного двигуна.

Норми ІКАО за контрольним параметром емісії основних забруднювальних речовин для сучасних авіаційних двигунів такі:

$$\frac{M_{\text{CO}}}{R_0} = 118 \text{ (г/кН)};$$

$$\frac{M_{\text{C}_x\text{H}_y}}{R_0} = 19,6 \text{ (г/кН)};$$

$$\frac{M_{\text{NO}_x}}{R_0} = (40 \dots 80) \text{ (г/кН)}.$$

Емісійні характеристики двигуна залежать від зовнішніх атмосферних умов, а саме: температури зовнішнього повітря та його тиску. Оскільки на різних висотах ці параметри є різними, то під час розрахунку емісії нормами ІКАО передбачено врахування відхилень фактичної температури і тиску повітря на вході у двигун від стандартних атмосферних умов (САУ) на рівні моря. Для цього вносять поправку до значення індексів емісії EI_j уведенням коефіцієнтів K_j . З урахуванням цього, новий індекс емісії визначають за формулою:

$$EI_j = K_j EI_j, \text{ [г/кг]}.$$

Поправковий коефіцієнт визначають за формулою:

$$K_j = \left(\frac{P_{CAV}}{P} \right)^a \left(\frac{G_{CAV}}{G} \right)^b \exp\left(\frac{T_{CAV} - T}{c} \right) \exp(d|h - 0,00634|),$$

де P_{CAV} , G_{CAV} , T_{CAV} — відповідно тиск, відносна витрата палива і температура в камері згоряння за стандартних атмосферних умов; P , G , T — відповідно тиск, відносна витрата палива і температура в камері згоряння, що відповідають розрахунковим атмосферним умовам; h — вологість атмосферного повітря, що відповідає розрахунковим умовам; a , b , c , d — розрахункові сталі, що можуть бути різними для кожного забруднювача та кожного типу двигуна.

Густина ρ_{v0} твердих частинок у струмені вихлопних газів авіаційних двигунів, приведена до вагової характеристики (кг) за стандартний злітно-посадковий цикл, може бути визначена за графіком залежності масової концентрації сажі від числа димності SN (рис. 2.2).

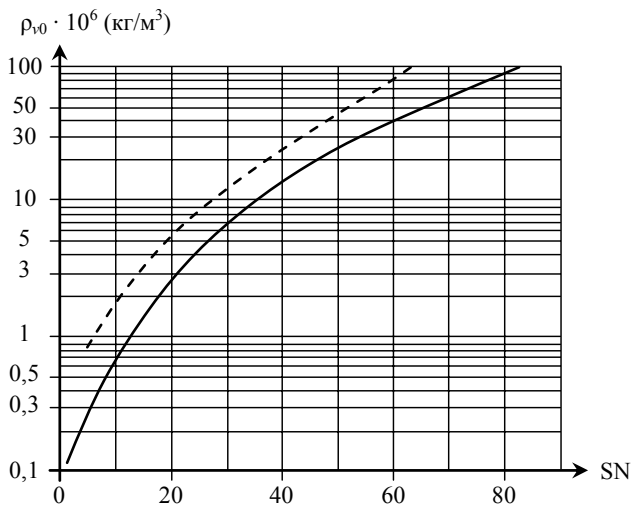


Рис. 2.2. Залежності масової концентрації сажі від числа димності:

- — сумарна концентрація частинок сажі;
- — концентрація частинок сажі $ds < 300$ нм

Число димності визначають за формулою:

$$SN = 83,6 \cdot R_0 - 0,274$$

або беруть $SN = 50$, залежно від того, яке із цих значень менше.

Використання логарифмічної шкали для ρ_{v0} спричиняє те, що ця залежність стає практично лінійною; її досить добре можна апроксимувати формулою (2.2):

$$\rho_{v0} = 10^{-6} \exp(0,07 \cdot SN), [\text{кг/м}^3]. \quad (2.2)$$

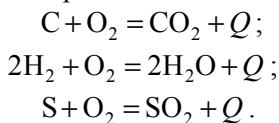
Тоді масовий викид сажі за час роботи двигуна τ визначають за формулою (2.3):

$$M_c = c_{v0} \frac{G_n}{\rho_n} \tau = \rho_{v0} Q_n \tau, [\text{кг}], \quad (2.3)$$

де G_n — витрата повітря через камеру згоряння двигуна; ρ_n — густина повітря; $Q_n = G_n / \rho_n$ — об'ємна витрата повітря через камеру згоряння.

Використання в останній формулі величини Q_n є зручнішим, адже для конкретного двигуна вона змінюється незначно. Наприклад, для двигуна ПС-90А у всьому діапазоні експлуатаційних режимів Q_n змінюється приблизно на 30 %, тимчасом, як масова витрата G_n змінюється майже вчетверо (400 %).

Хімічні реакції горіння основних компонентів авіаційного палива — вуглецю, водню та сірки — можна записати у вигляді:



Виходячи з типових технічних вимог ІСАО до авіаційного палива, на основі рівнянь хімічних реакцій горіння можна визначити кількість конкретних продуктів повного згоряння залежно від маси витраченого палива. Співвідношення мають вигляд:

$$\begin{aligned} CO_2 (\text{кг}) &= 3,12 M_n (\text{кг}); \\ H_2O (\text{кг}) &= 1,35 M_n (\text{кг}); \\ SO_2 (\text{кг}) &= 0,005 M_n (\text{кг}). \end{aligned}$$

Наведені оцінки маси викидів забруднювальних речовин є максимальними, оскільки відповідають повному згорянню палива. Їх похибка за наявних значень повноти згоряння в авіаційних двигунах не перевищує 2 %.

Як відомо, продуктами неповного згоряння палива є оксид вуглецю (СО), незгорілі вуглеводні (C_nH_m) і тверді частинки (сажа).

Статистичні дані свідчать, що для двигунів різних класів тяги середня кількість незгорілих вуглеводнів у відпрацьованих газах у 2,58 разу менша, ніж кількість оксиду вуглецю. Виходячи із цього і з урахуванням того, що метан (CH₄) становить не більше, ніж 10 % від загальної маси викидів вуглеводнів за злітно-посадковий цикл, ІСАО пропонує такі співвідношення для розрахунку кількості продуктів неповного згоряння палива:

$$C_n H_m [\text{кг}] \approx 0,28(1-\alpha) M_n [\text{кг}];$$

$$\text{CH}_4 [\text{кг}] \approx 0,28(1-\alpha) M_n [\text{кг}];$$

$$\text{CO} [\text{кг}] \approx 0,28(1-\alpha) M_n [\text{кг}].$$

У цих трьох виразах α — коефіцієнт повноти згоряння палива, значення якого потрібно брати із характеристик двигуна. Ці вирази є наближеними, і ними слід користуватися у разі, коли емісійні характеристики конкретного двигуна з якихось причин невідомі.

Використовуючи в розрахунках емісій експлуатаційних характеристик двигунів, у разі потреби, потрібно користуватися формулами приведення до стандартних атмосферних умов, що дає змогу врахувати вплив атмосферного тиску й температури на вході в двигун на параметри потоку повітря у вхідному перерізі камери згоряння, на витрату палива і, отже, на величину викидів забруднюючих речовин:

— оберти

$$n_{\text{пр}} = n \sqrt{\frac{288}{T}}, [\text{об/хв}];$$

— тяга

$$R_{\text{пр}} = R \frac{101\ 325}{p}, [\text{Н}];$$

— питома витрата палива

$$C_{\text{пит.пр}} = C_{\text{пит}} \sqrt{\frac{288}{T}} [\text{кг/Н}\cdot\text{год}];$$

$$G_{\text{л.пр}} = G_n \frac{101\ 325}{p} \sqrt{\frac{288}{T}}, [\text{кг/с}];$$

— витрата палива;

— витрата повітря;

$$G_{\text{пов.пр}} = G_{\text{пов}} \frac{101\,325}{p} \sqrt{\frac{288}{T}}, \text{ [кг/с];}$$

$$g_{n.\text{пр}} = \frac{G_{n.\text{пр}}}{G_{\text{пов.пр}}} = g_n \frac{288}{T};$$

— відносна витрата палива

$$T_{\text{к.пр}} = T_{\text{к}} \frac{288}{T};$$

— температура повітря за компресором (на вході в камеру згоряння), [0K];

— тиск повітря за компресором (на вході в камеру згоряння), [Па]

$$p_{\text{к.пр}} = p_{\text{к}} \frac{101325}{p}.$$

У наведених формулах T і p — відповідно температура (0K) і тиск (Па) атмосферного повітря в конкретних умовах експлуатації авіаційного двигуна.

2.3. Викиди шкідливих речовин під час експлуатації підприємств авіапаливозабезпечення

Основна функція підприємств авіапаливозабезпечення — це забезпечення своєчасного заправлення паливом літаків завдяки зберіганню необхідного резерву палива, підготовці до видавання та заправлення в літак.

Сьогодні 75 % втрат нафтопродуктів у резервуарних парках цих підприємств (рис. 2.3) припадає на втрати від випаровувань, що призводить не тільки до погіршення якості продукту, а й до значного забруднення довкілля токсичними речовинами.

З погляду забезпечення екологічної безпеки найбільшу масу забруднень атмосфери становить процес зберігання палив. Це пов'язано з фізико-хімічними властивостями палив, умовами їх зберігання та особливостями конструкції та експлуатації технологічного обладнання.

Основним фактором випаровувань палив є високий тиск насичених парів нафтопродуктів і, як наслідок, зростає перехід летких фракцій у газову фазу. Випаровування збільшується за підвищення температури поверхні нафтопродуктів або зниження тиску в газовому просторі резервуарів.

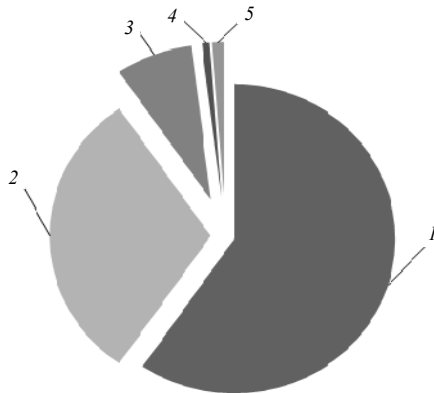


Рис. 2.3. Зовнішній вигляд резервуарів на складі зберігання палив

Під час зберігання нафтопродуктів у резервуарах, зазвичай, втрати палива відбуваються внаслідок таких процесів: малі «дихання» резервуарів, великі «дихання» резервуарів, зворотні «видихи» резервуарів, вентиляції газового простору резервуарних смностей тощо. Відсоткові частки у загальних втратах, спричинені цими процесами, наведені на рис. 2.4.

Рис. 2.4. Структура природних втрат нафтопродуктів:

1 — за рахунок вентиляції газового простору резервуара (62 %); 2 — за рахунок великого «дихання» резервуара (32 %); 3 — за рахунок малого «дихання» резервуара (8 %); 4 — за рахунок зворотного «видиху» резервуара (0,8 %); 5 — інші види втрат (1,2 %)



Втрати від малих «дихань» відбуваються внаслідок циклічних коливань температури та парціального тиску в газовому просторі резервуара, спричинених добовою дією сонячної радіації й атмос-

ферних умов на стінки та покрівлю резервуарів. Тривалість одного циклу зазвичай дорівнює добі.

Втрати від великих «дихань» залежать переважно від обсягів та температури палива, закачуваного до резервуару, а також концентрації парів нафтопродукту в пароповітряній суміші, їх густини й тиску.

Втрати від вентиляції газового простору — втрати, що виникають унаслідок неправильного встановлення дихальних клапанів, недостатньої герметичності покрівлі резервуарів. Величина таких втрат іноді може перевищувати втрати від малих і великих «дихань». Вентиляційні втрати розглядають як результат видудання вітром парів нафтопродуктів через негерметичність покрівлі резервуарів, а також як наслідок виникнення в просторі над паливом газового сифона.

Існує також поняття втрати від зворотного «видиху». Сутність його в тому, що після часткового чи повного спорожнення резервуара, газовий простір залишається ненасиченим парами нафтопродукту. Під час нерухомого збереження нафтопродукту, що залишився, відбувається насичення газового простору внаслідок випаровування залишку. Процес супроводжує зростання парціального тиску парів у газовому просторі зростання загального тиску. У разі досягнення рівня загального тиску, що дорівнює розрахунковому тиску, спрацьовує дихальний клапан, відбувається викид в атмосферу певного об'єму газоповітряної суміші, тобто зворотний «видих».

Як видно з табл. 2.2, втрати нафтопродуктів значною мірою залежать від наповнення резервуара та кліматичної зони місцевості.

Таблиця 2.2

Втрати нафтопродуктів від випаровування залежно від заповнення резервуара та кліматичних зон (% за рік)

Об'єм заповнення резервуара, %	Середня зона	Південна зона
90	0,3	0,4
80	0,6	0,9
70	1,0	1,5
60	1,6	2,3
40	3,6	5,2
20	9,6	13,6

Залежно від пори року та типу нафтопродуктів їх випаровування, а отже, й викиди від малих «дихань» суттєво відрізняються. Найбільша маса викидів шкідливих речовин припадає на теплу пору року. Так, наприклад, тільки за один літній місяць із вертикального сталевого резервуара об'ємом 1000 м^3 РВС-1000 може випаровуватися в атмосферу до 217 кг авіаційного реактивного палива ТС-1, а з РВС-5000 — уже 618 кг (рис. 2.5). Значнішими є втрати бензинів: з резервуара РВС-1000 може випаровуватися в атмосферу за місяць до 2281 кг, а РВС-5000 — 7815 кг палива.

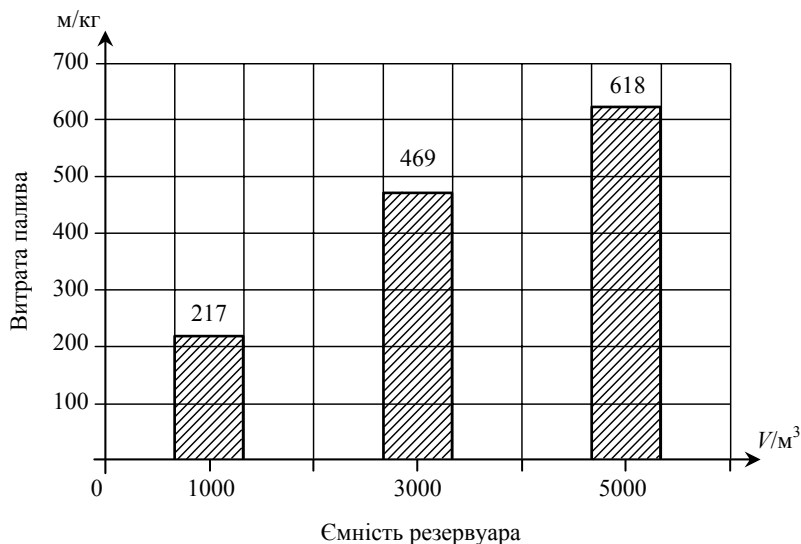


Рис. 2.5. Залежність місячних втрат авіаційного палива ТС-1 від ємності резервуара (літній місяць)

У резервуарах з різною висотою наливання палива втрати від малих «дихань» зменшуються у міру підвищення висоти наливання. У разі зберігання нафтопродукту в резервуарі, заповненому на 20–50 %, викидів парів набагато більше, ніж у резервуарі з максимальною висотою наливання (рис. 2.6).

Це пояснюється тим, що в резервуарах, заповнених на 20 %, газоповітряна суміш становить 80 % від загального об'єму, тобто випаровується більше нафтопродукту.

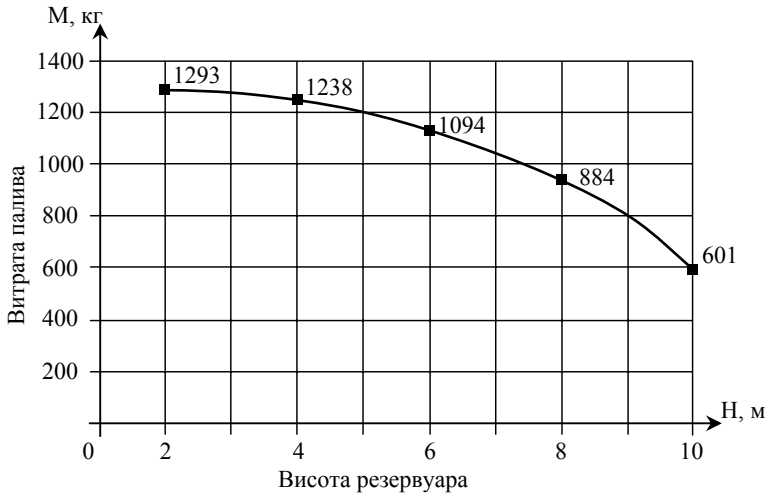


Рис. 2.6. Залежність втрат авіаційного палива ТС-1 від висоти наливання в резервуарі РВС-3000 за 30 діб за малих «дихань»

2.4. Способи зниження екологічної небезпеки від викидів пари нафтопродуктів

Втрати авіапалив унаслідок випаровування найістотніші в резервуарному парку підприємств паливозабезпечення. Основні шляхи їх зменшення:

- зменшення об'єму газового простору резервуарів через застосування своєчасного перекачування палив з інших резервуарів у найхолодніший час доби (уранці);
- застосування резервуарів конструкції з подвійними стінками та подвійним дном (типу «стакан у стакані») (рис. 2.7);
- уловлювання та регенерація парів нафтопродуктів, що виходять із резервуара, створенням газопорівнювальних систем, абсорбційно-адсорбційних і ежекційних установок;
- вжиття організаційних заходів, що полягають у систематичній перевірці й підтриманні справного технічного стану резервуарів та їх «дихального» обладнання;
- променевідбивне фарбування резервуарного парку.

З метою зниження викидів парів нафтопродуктів у довілля доцільно й економічно виправдано встановлювати під монтажним патрубком «дихального» клапана резервуара диски-відбивачі (рис. 2.8). Принцип їх дії полягає у зміні напрямку струменя по-

вітря, що входить у резервуар, з вертикального на горизонтальний. Тоді значно насичені парами нафтопродукту газоповітряні шари, розташовані у паливній поверхні, практично не зачіпатимуть конвективні потоки.

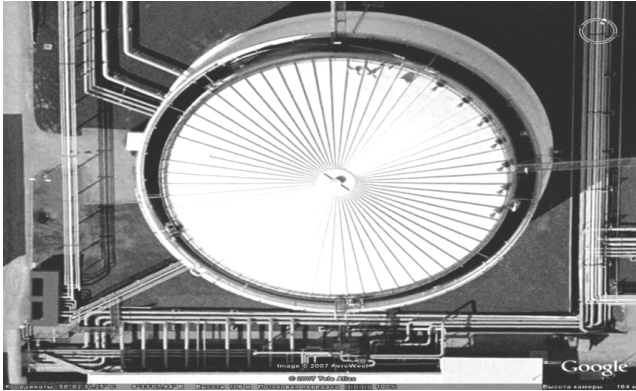


Рис. 2.7. Вигляд згори резервуара з подвійними стінками та подвійним дном

Застосування дисків-відбивачів доволі ефективно в бензинових і паливних резервуарах з великим коефіцієнтом оборотності. Так, завдяки їх установленню втрати від великих «дихань» протягом теплої пори року скорочуються на 30–40 %. У холодну пору року дане конструктивне рішення неефективне, адже холодне повітря, що входить у резервуар, важче за газоповітряну суміш і прямує до поверхні продукту, перемішуючи при цьому насичені шари.

Оскільки втрати від випаровування легколетких нафтопродуктів значною мірою залежать від амплітуди коливання температури пароповітряної суміші в резервуарі, для зменшення останньої застосовують зовнішнє променевідбивне фарбування

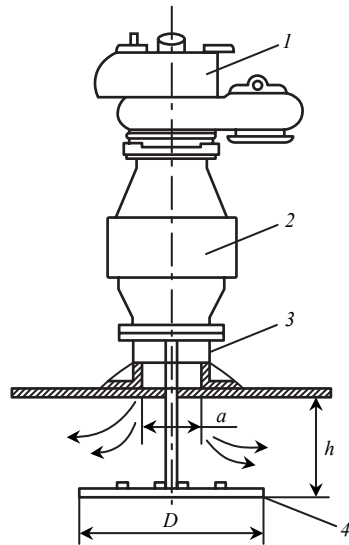


Рис. 2.8. Диск-відбивач: 1 — «дихальний» клапан; 2 — болт; 3 — проміжний фланець; 4 — диск

корпусу резервуара та покрівлі. Фарбування зовнішньої поверхні резервуарів у світлі тони найширше застосовують у практиці експлуатації резервуарів зі світлими нафтопродуктами. Фарби, які застосовують із цією метою, повинні мати коефіцієнт відбиття більший за 0,8 (табл. 2.3). Проте відбивальна здатність фарби згодом знижується внаслідок забруднення поверхні, а також хімічних змін і механічних ушкоджень лакофарбового покриття, тому потрібно періодично її відновлювати.

Таблиця 2.3

**Відбивальна здатність технологічної поверхні
залежно від кольору покриття**

Колір забарвлення	Відбивання сонячного проміння, %	Колір забарвлення	Відбивання сонячного проміння, %
Дзеркальний	100	Алюмінієвий	35–67,0
Білий	90	Світло-сірий	57,0
Світло-кремовий	88,5	Сірий	47,0
Блакитний	85,0	Незабарвлений	10,0
Світло-зелений	78,5	Чорний	0

Водне зрошування резервуарів застосовують як спосіб зниження температури резервуара, зокрема пароповітряного простору. Під час зрошування резервуара вода, вкриваючи тонкою плівкою його поверхню, акумулює частину сонячної енергії, унаслідок чого зменшується нагрівання покрівлі та стінок, і через це — газового простору резервуара та нафтопродукту.

Зрошувальні установки монтують на покрівлі резервуара, для підвищення ефективності зрошування, за периметром покрівлі з листової сталі монтують огорожувальне кільце, тобто утворюється своєрідний басейн, у якому вода знаходиться постійно, і в міру необхідності її доливають до потрібного рівня.

Зрошування стінок резервуара здійснюють за допомогою прямого пояса (рис. 2.9).

Ще одним з ефективних способів збереження нафтопродуктів, що легко випаровуються, є збереження їх у заглиблених і підземних резервуарах. Такому способу зберігання притаманна відносна сталість температурного режиму. За збереження в заглиблених резервуарах майже цілком виключені втрати від малих «дихань», адже засипані ґрунтом, вони не зазнають сонячного опро-

мінення, отже, у них майже відсутні добові зміни температури газового простору. Резервуар, заглиблений у землю на 0,5 м, зазнає впливу тільки річних коливань температури. Порівняно з наземними резервуарами втрати від малих «дихань» у заглиблених резервуарах скорочуються у 8–10 разів, окрім того, знижуються втрати від великих «дихань».

2.5. Витікання нафтопродуктів на підприємствах паливозабезпечення та методи їх скорочення

Неналежа експлуатація об'єктів підприємств паливозабезпечення, порушення умов роботи устаткування та обладнання, експлуатація морально застарілого обладнання, відсутність систем автоматичного контролю працездатності устаткування та можливих витікань нафтопродукту — усе це є головними факторами виникнення техногенних аварій і ситуацій, небезпечних для навколишнього природного середовища.

Витікання нафтопродукту можуть бути аварійними та експлуатаційними. Серед експлуатаційних розрізняють: систематичні та разові, технологічні (дефекти у зварювальних з'єднаннях, корозійні порушення конструкційного матеріалу, недостатнє ущільнення технологічних з'єднань) та експлуатаційно-ремонтні (під час демонтажу, монтажу обладнання, виконання проведення ремонтних робіт, експлуатаційних випробувань обладнання тощо).

Установлено, що вертикальна міграція нафтопродуктів залежить від їх фізико-хімічних властивостей, а саме: густини та в'язкості. Сприяють проникненню забруднювачів у ґрунт також температура довкілля та такі властивості ґрунту, як вологість, щільність і гранулометричний склад.

Дослідження показали, що природна нафтоємність ґрунтів має певні межі і, наприклад, для ґрунту зі вмістом піску понад 50 %, який перестає виконувати свої захисні функції, якщо забрудню-

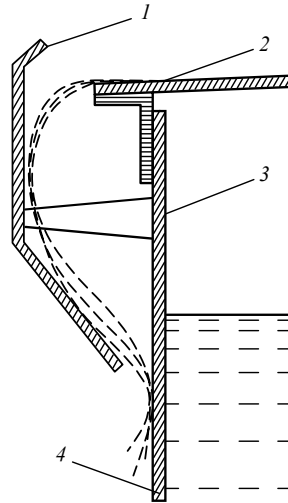


Рис. 2.9. Напрячний пояс для стоку води на корпус резервуара: 1 — напрячний пояс; 2 — дах резервуара; 3 — кронштейн; 4 — стінка

вальне навантаження перебільшує 10 л/м^2 . Дреновані піщані та супіщані ґрунти характеризує можливість глибокого проникнення нафтопродукту в ґрунт. Так, за навантаження забруднювача більше ніж 50 л/м^2 нафтопродукт може проникнути на глибину 1 м і більшу, а $10\text{--}20 \text{ л/м}^2$ — на $10\text{--}30 \text{ см}$.

Відсутність своєчасного контролю витікання нафтопродукту, що зберігають у вертикальних резервуарах, за наявності дефектів у дні резервуара призводить до можливості постійного просочення палив у ґрунт, накопичення та міграції у ньому та у підземних водах. На рис. 2.10 зображені зони міграції нафтопродукту зі складу пально-мастильних матеріалів (ПММ) одного з вітчизняних аеродромів, термін експлуатації резервуарних ємностей якого становить більш як тридцять років. Під час аналізу даних оцінювального моніторингу визначили, що на території даного складу ПММ та прилеглий до нього території аеродрому на глибині 17 м знаходиться лінза нафтопродуктів загальною площею $14\,986 \text{ м}^2$. Аналіз товщини шару паливного забруднення дав можливість оцінити орієнтований його об'єм — 1870 м^3 .

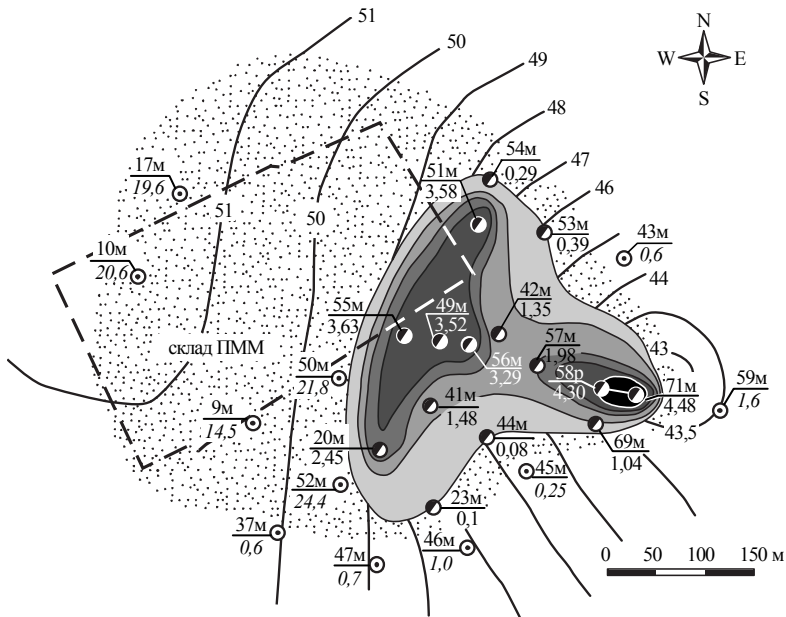


Рис. 2.10. Зони підземної міграції витікання нафтопродукту з резервуарних ємностей зі складу ПММ

Для запобігання забрудненню НПС нафтопродуктами на підприємствах авіапаливозабезпечення вживають конструкційних, експлуатаційних та організаційних заходів.

До конструкційних заходів відносять:

- установку резервуарів з подвійними стінками (рис. 2.11);
- організацію подвійного дна резервуара з можливістю детектування витоків нафтопродукту в часі (рис. 2.12–2.14).

Застосування схеми організації подвійного дна на піддон з поліетилену високої щільності показано на рис. 2.15.

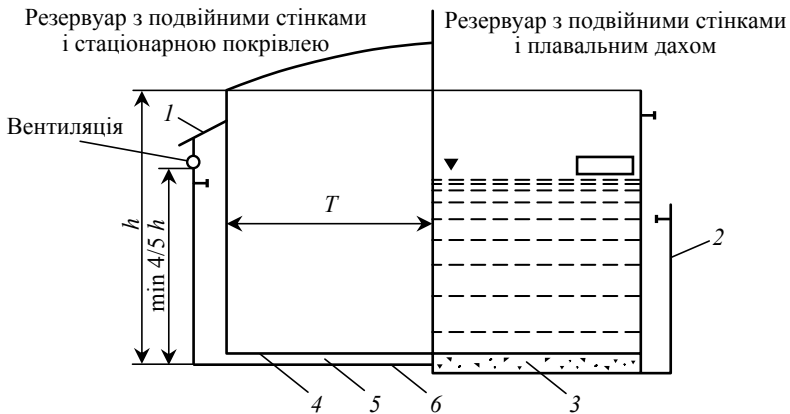


Рис. 2.11. Конструкції вертикальних циліндричних резервуарів:

- 1 — захисний дах; 2 — зовнішня стінка; 3 — датчики сигналізації витікання в товщі бетону або сталевому каркасу між днами;
4 — внутрішнє дно; 5 — датчики сигналізації витікань; 6 — зовнішнє дно

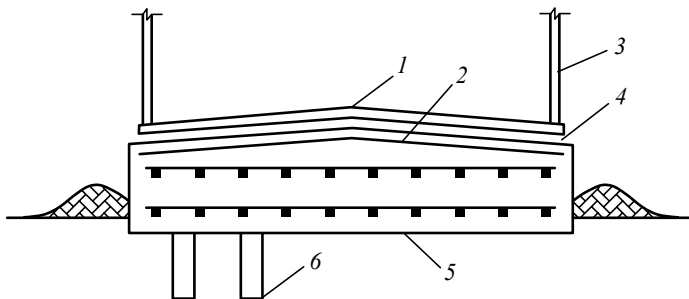


Рис. 2.12. Армована залізобетонна плита з радіальними пазами (канавками) для виявлення витікань: 1 — дно резервуара; 2 — радіальні пази (канавки); 3 — стінка резервуара; 4 — дренаж; 5 — залізобетонна плита із забезпеченням герметичності від витікань; 6 — палі (за необхідності)

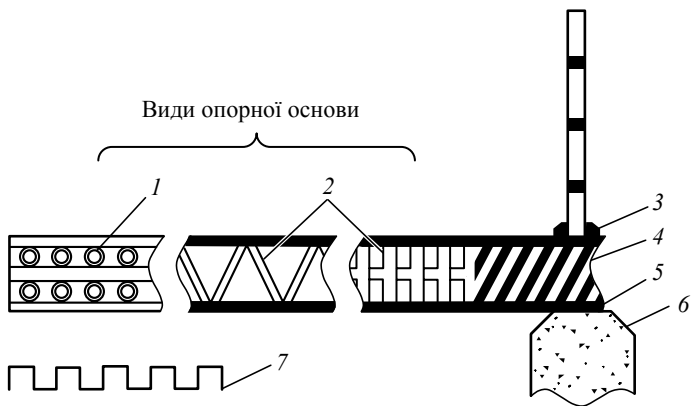
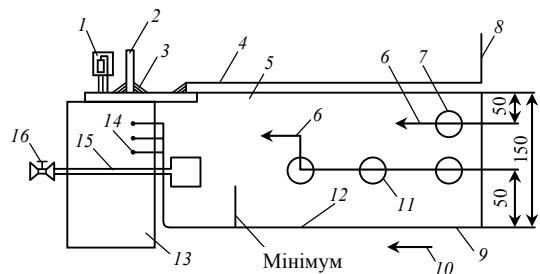


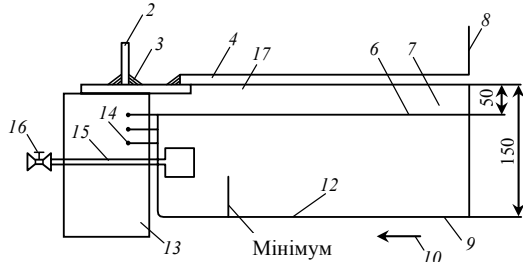
Рис. 2.13. Подвійне сталеве дно з пристроєм виявлення витікання за периметром резервуара: 1 — дротяна (арматурна) сітка; 2 — решітки чи профілі (структурні); 3 — край герметизації первинного дна; 4 — муфта труби під час дренажу; 5, 6 — опорне кільце дна (суцільне); 7 — катодний захист



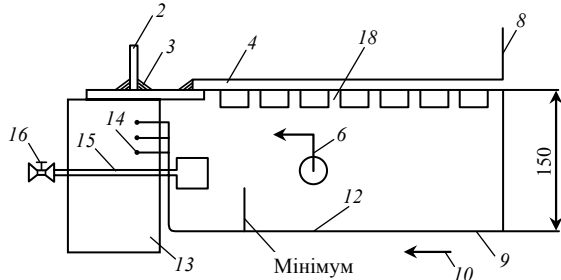
Рис. 2.14. Зовнішній вигляд резервуара з детектуванням можливих витікань палив з дна



a



б



в

Рис. 2.15. Комплексна схема організації подвійного дна на піддон з поліетилену високої щільності: *a* — укладання сталевго дна на подушку із чистого піску в поліетиленовому піддоні; *б* — укладання сталевго дна на комбіновану подушку з просоченого бітумом і чистого піску в поліетиленовому піддоні; *в* — укладання сталевго дна на подушку в поліетиленовому піддоні; 1 — станція контролю параметрів системи катодного захисту; 2 — стінка резервуара; 3 — зварювальний шов; 4 — мідно-сульфатний або цинковий електрод порівняння; 5 — дно резервуара; 6 — резервуар; 7 — до станції контролю параметрів катодного захисту; 8 — подушка з промитого піску; 9 — кріплення дна на поліетиленовому піддоні; 10 — патрубок для визначення витоків; 11 — магнієві протектори стрічкового типу для захисту від корозії; 12 — піддон із поліетилену високої щільності з товщиною стінки 2 мм; 13 — нахил 25,4 мм/3,05 м; 14 — бетонний кільцевий фундамент; 15 — бронзовий кульковий кран із прохідним діаметром 38 мм; 16 — шар просоченого бітумом піску; 17 — бетонна подушка; 18 — канавки з нахилом від центру до периферії

До експлуатаційних заходів відносять:

- своєчасне виконання технічного обслуговування устаткування та обладнання, випробування резервуарів на герметичність та міцність;
- здійснення дефектоскопії й обстеження резервуарів зберігання палив з метою виявлення можливих дефектів конструкції;
- герметизацію та зміцнення внутрішнього дна резервуара шаром спеціального покриття на основі епоксидних композицій.

До організаційних заходів належать:

- організація суцільного бетонного обвалування зони зберігання палив (рис. 2.16);
- організація планового технічного обслуговування технологічного обладнання;
- своєчасне проведення інструктажу та підвищення кваліфікації технічного персоналу.



Рис. 2.16. Організація суцільного бетонного обвалування зони зберігання палив

■ Розділ 3

ПОВІТРЯНЕ СУДНО ЯК ДЖЕРЕЛО ЗАБРУДНЕННЯ _____

3.1. Особливості забруднення ґрунтового покриву

Окрім забруднення атмосферного повітря авіаційний транспорт із приписаною до нього технікою забруднює ґрунти різними механічними, фізичними та хімічними домішками.

Забруднення ґрунту відбувається внаслідок осідання з повітряного басейну на поверхню ґрунту забруднювальних речовин, які надходять в атмосферу з відпрацьованими газами літаків, наземної авіаційної техніки і топок котельних.

Ґрунтовий покрив являє собою систему менш динамічну і більш буферну, ніж атмосферне повітря чи водойми. Одна з особливостей ґрунту полягає в тому, що він нагромаджує інформацію про процеси і зміни, які відбуваються, і тому не лише свідчить про стан середовища на поточний момент часу, а і відображає минулі процеси.

Ґрунти виконують протекторну роль стосовно природних вод, атмосфери та рослинності. Водночас, виконуючи захисні функції, ґрунти можуть стати основним джерелом багатьох хімічних речовин, що забруднюють природні води й небезпечні для рослин.

Перерозподіл забруднень у ґрунті, а отже, і суміжних із ним середовищах (рослинах, воді, повітрі) спричинений переміщенням важких металів по ґрунтовому профілю.

На відміну від органічних хімічних забруднювачів, що розкладаються з часом, важкі метали здатні лише перерозподілятися між компонентами природного середовища, і періоди їх розкладу можуть становити багато тисяч років.

Обстеження ґрунтів поблизу аеропортів показало підвищений вміст важких металів у них більше ніж у 20 разів. Максимальне забруднення спостерігалось біля складів ППМ, ремонтних майстерень, перону, а також уздовж злітно-посадкових смуг, особливо в місцях зльоту і посадки літаків. За сильного та помірного забруднення в ґрунтах виявлено від 8 до 18 мг/кг важких металів, вміст яких значно перевищував допустимі норми. Загалом ґрунти побли-

зу аеропортів забруднені такими важкими металами, як цинк, мідь, свинець, хром, олово, вольфрам, а також специфічними металами (кобальт, нікель, кадмій, стронцій, срібло, літій).

Дослідження, проведені в Україні та за її межами, свідчать, що рівень забруднення ґрунтів у районі аеропортів і підприємств з обслуговування авіаційної техніки досить високий. На 1 м² ґрунту припадає до 200–250 г органічних і неорганічних хімічних речовин штучного походження.

Існують великі ділянки території аеропортів, піддані вітровій ерозії. Цьому процесу сприяє забруднення ґрунтів ППМ, а також викидами газів, що надходять у природне середовище внаслідок емісії двигунів внутрішнього згоряння і спецавтотранспорту.

Найінтенсивніше забруднення ґрунту в місцях заправлення транспортних засобів паливом і мастилами через аварійні розливи.

Цілісність системи ґрунт–рослина вказує на необхідність дослідження і рослин щодо хімічного впливу на них авіаційного транспорту.

Забруднення рослин поділяють на зовнішні (осідання на поверхні листя і стебел) і внутрішні (надходження в клітини через коріння). Під час надходження забруднювачів через коріння рослин спрацьовують захисні механізми. Вони обмежують проникнення полутантів у наземні органи та включення їх у метаболічні реакції клітин. Щодо різних забруднювачів захисні можливості рослин проявляються неоднаково: свинець, наприклад, затримується вже на корінні, кадмій легко проникає в наземні органи.

Характер поглинання й акумуляції важких металів рослинами в умовах забруднення визначається рівнем забруднення, вибірковістю рослин, впливом супутніх викидів, які підкислюють чи підлужнюють ґрунтовий розчин.

Між хімічним складом рослин і елементним складом середовища існує безперечний зв'язок, але пряма залежність вмісту важких металів у рослинах від вмісту у ґрунті часто порушується через вибіркочувливість рослин до нагромадження елементів.

Поглинання елемента рослиною визначається не тільки проходженням реакцій у системі ґрунт–розчин, але і взаємодією між розчином і рослиною, що може змінюватися зі зміною концентрації елемента.

Порівнюючи глибину міграції важких металів у ґрунті без рослинності і з рослинністю, виявили в останньому випадку дещо

більшу глибину їх проникнення. Крім того, було встановлено, що показник захисних можливостей ґрунту (ґрунтовий бар'єр) перебуває у прямій залежності від здатності металу (його хімічних властивостей) до переходу в рухливу форму з наступною міграцією в системі ґрунт–рослина.

3.1.1. Хімічне забруднення ґрунтового покриття

За нормальної експлуатації РКТ хімічне забруднення ґрунту відбувається в результаті осідання продуктів згоряння стартової хмари в районі СК, а також вплив залишків КРП частин РН, що відділяються, у РП.

3.1.2. Механічне забруднення ґрунтового покриття

Падіння частин РН, що відділяються, супроводжується механічним забрудненням ґрунтового покриття в РП. У момент зіткнення частин, що відділяються, з поверхнею землі швидкість ступеня становить близько 60–80 м/с (215–220 км/год). Утворюються різних розмірів воронки, пошкоджуються ґрунтово-рослинні покриття (особливо сильно пошкоджується гумусовий шар ґрунту).

У разі падіння в РП частин РН, що відділяються, можуть руйнуватись паливні баки і трубопроводи. Залежно від кількості залишків КРП цей процес може супроводжуватись виливом КРП на ґрунт і їх займанням.

У перші роки після початку регулярних космічних запусків частини РН, що відділяються (ракетні блоки, хвостові відсіки, головні обтічники), у РП підривались із метою їх дефрагментації; металеві фрагменти закопувались у землю. Компоненти ракетних палив випадали. Вважалось, що такий комплекс заходів достатній для ліквідації негативних наслідків пуску РН у РП частин, що відділяються. Однак останнім часом влада регіонів, де розташовані РП частин РН, стали висувати претензії щодо нанесення збитків НПС. У зв'язку із цим прийнято рішення про збирання фрагментів частин, що відділяються, у РП. Були створені спеціальні команди для виконання цих робіт.

Маси конструкцій частин, що відділяються, російських РН наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Маси конструкцій частин¹, що відділяються, російських РН, кг

Ракета-носій	Ступінь	Маса, кг
«Космос-3М»	Перший	5304
	Другий	1434
«Циклон-2»	Перший	6290
	Другий	3300
	ГО	640
«Циклон-3»	Перший	6270
	Другий	3450
	Третій	1360
	ГО	850
«Союз-У» ²	Перший	15 200
	Другий	6550
	Третій	2000–2150
	ГО	990–2675
«Русь» ²	Перший	15 200
	Другий	6525
	Третій	2597
	ГО	1370
«Зеніт»	Перший	27 970
	Другий	8330
	ГО	2470
«Старт-1»	Перший	2322
	Другий	980
	Третій	445
	Четвертий	155
	ГО	122
«Рокот»	Перший	5420
	Другий	1255
	ГО	750
«Протон»	Перший	31 000
	Другий	11 750
	Третій	4160
	ГО	1 300–2 500

Закінчення табл. 3.1

Ракета-носій	Ступінь	Маса, кг
«Молния» ²	Перший	15080
	Другий	6800
	Третій	1580
	Четвертий	1195
	ГО	800

¹ Як сухі маси частин РН, що відділяються, наведені їх проектні наближені значення. Фактично сухі маси можуть відрізнятися не більш ніж на 2 %. На РН можуть використовуватися ГО різноманітних типів (різноманітних мас).

² Перший ступінь РН «Союз-У», «Русь» і «Молния» складається з чотирьох ідентичних блоків; наведено сумарні значення.

На початку 90-х років у ряді дослідно-конструкторських робіт вирішувалося завдання створення спеціалізованого комплексу технічних засобів евакуації та утилізації частин, що відділяються, нейтралізації виливів компонентів палива та пожежогасіння у РП. У результаті проведених досліджень запропоновано і відпрацьовано екологічно безпечні технології розбирання, детоксикації та утилізації фрагментів частин РН, що відділяються.

Під час розбирання частин РН, що відділяються, на фрагменти знімаються прилади та елементи РН, які містять дорогоцінні метали для подальшого перероблення.

Так, тільки протягом 1992–1994 рр. зібрано і вивезено із РП частин РН близько 6200 т металофрагментів. Вивезення металоконструкцій досить складна технічна проблема через відсутність доріг, а також через недопустимість вторинної дії (у процесі вирішення проблеми очищення РП частин РН) на природне середовище в зонах розміщення РП частин, що відділяються. Вирішення проблеми можливе нетрадиційними способами — застосуванням авіаційних або аеростатичних засобів транспортування.

3.1.3. Радіоактивне забруднення ґрунтового покриву

Кінцевим результатом будь-якої аварійної ситуації з викидом радіоактивного палива в навколишнє середовище є радіоактивне забруднення місцевості (ґрунту, поверхневих вод, приземної атмосфери). Потенційна небезпека такого забруднення визначається двома основними факторами:

1) прямим опроміненням людини від зовнішнього джерела (зовнішнє опромінення);

2) внутрішнім опроміненням у разі потрапляння радіоактивних речовин в організм людини в результаті вдихання або через харчові ланцюги.

Характер радіаційної небезпеки залежить від фізичних і радіобіологічних характеристик ядерних палив (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Фізичні і радіобіологічні характеристики ядерних палив

Характеристики	Уран-235	Плутоній-238
Піврозпад, рік	$7,1 \cdot 10^8$	88
Спад опромінення	α, γ	α, γ
Активність, Кі/кг	4,76 (α);	5 (α); 0,01 (γ)
Допустима концентрація, Кі/л фері	0,185 (γ , 55 %) 0,43 (γ , 12 %)	0,044 (γ) $1,7 \cdot 10^{-4}$
Допустима густина опромінення, розп/хв·см ²	$2,1 \cdot 10^{-3}$ $2 \cdot 10^{-16}$	$3,3 \cdot 10^{-17}$ $1 \cdot 10^{-10}$
Органи	$2,3 \cdot 10^{-9}$ < 50 Кістки	< 50 Кістки, легені

Уран-235 і плутоній-238 – це переважно 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.

У разі руйнування ЯЕУ з викидом радіоактивного палива в навколишнє середовище основну небезпеку для людей становить внутрішнє опромінювання альфа-частинками, оскільки їх енергія повністю поглинається в критичних органах (довжина пробігу частинок у біологічній тканині близько трьох–п'ятих десятків мікрометрів). В окремих випадках слід враховувати також гамма-випромінювання. Унаслідок значно більшої порівняно з ураном питомої активності плутонію, а також більш сильної дії на критичний орган потрапляння цього радіонукліду в біосферу особливо небезпечно.

Аварія ЯЕУ і виникнення радіаційної небезпеки можливі під час таких операцій:

- 1) транспортування ЯЕУ;
- 2) перебування на стартовій площадці;
- 3) запуск, виведення на задану орбіту;
- 4) завершення штатного функціонування;
- 5) виведення на орбіту захоплення або повернення в атмосферу.

Перевезення ядерних матеріалів з дотриманням усіх норм радіаційної безпеки являє собою самостійну проблему. Правила їх перевезення регламентуються відповідними нормативними документами.

Транспортувати ядерні матеріали можна автомобільним, залізничним та авіаційним транспортом. Установка перевозиться у спеціальному транспортному контейнері, конструкція якого повинна виключати вихід ядерного палива в навколишнє середовище у разі дії будь-якого зовнішнього фактора. Щоб запобігти опроміненню персоналу під час перевезення й обслуговування, ЯР перевозять не у спорядженому вигляді. Його збирають на стартовій площадці, що дозволяє унеможливити випадкове досягнення реактором критичного або підкритичного стану в будь-якій аварійній ситуації.

Імовірність аварії при транспортуванні характеризується даними табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Імовірність аварії під час транспортування ядерних матеріалів на відстань до 1600 км

Транспортний засіб	Імовірність аварії	
	невеликої	значної
Вантажівка	1/230	1/115000
Вантажний потяг	1/3300	1/82000
	1/5550	1/42000

Аварії вантажного транспорту можуть призвести до механічних пошкоджень, вибухів і пожеж. У разі зустрічного удару 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 велику небезпеку за тепловим навантаженням у випадку

пожежі або вибуху, оскільки космічна ЯЕУ повинна залишатись неушкодженою за більш високих температур (наприклад, унаслідок вибухів ракетного палива на стартовій площадці).

Аварії на залізничному транспорті зазвичай менш небезпечні, ніж автомобільні. У процесі горіння авіаційного палива може виділитись близько 10^{11} Дж тепла, а температура протягом 30 хв підвищиться до 1200 °С. Таке полум'я здатне сильно пошкодити оболонку ЯЕУ. У разі падіння з великої висоти в результаті вибуху літака максимальна швидкість може досягати 100–120 м/с у випадку удару об твердий скельний ґрунт.

Удар спорядженого ЯР об ґрунт під час падіння зі значної висоти може змінити геометрію його активної зони (стиснення або розширення тепловидільних елементів — твелів). Якщо при цьому не змінюється критичність ЯР унаслідок переміщення стрижнів аварійного захисту, може виникнути локальна зона радіоактивного забруднення ґрунту у РП ЯР за рахунок розпилювання палива під час удару. Те саме може відбутися у разі падіння або удару РІГ і складання твелів.

Таким чином, найбільш небезпечні 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, підняття і виходу на задану траєкторію.

Теплові навантаження можуть бути зумовлені спалахом ракетного палива, детонацією або вибухом. Найважчі умови виникають у момент старту, оскільки згодом двигуни інтенсивно витрачають ракетне паливо. Однак ці навантаження на два-три порядки менші, ніж ті, які виникають від аеродинамічного нагрівання на великих висотах в атмосфері.

Механічні навантаження виникають під час падіння ЯЕУ з висоти і удару об ґрунт з максимальною швидкістю до 100 м/с.

Радіоактивне забруднення у разі радіаційних катастроф або аварій на старті зумовлено двома основними принципами:

- 1) падіння з висоти — удар об ґрунт може призвести до механічного руйнування ЯЕУ, розкиду неопромінених великих фрагментів у РП або вибуху;

2) дія високих температур може спричинити пошкодження оболонок, згоряння частини палива, утворення хмари радіоактивних аерозолів і поширення його зі швидкістю і за напрямками приземного вітру.

У разі аварій на великих висотах, повернення з орбіти, входу в атмосферу радіоактивне забруднення ґрунту виникає в результаті аеродинамічного нагрівання конструкції, згоряння радіоактивного палива і випадіння на землю його аерозолів, що при цьому утворюються.

Під час падіння й удару об ґрунт у випадку руйнування ЯЕУ розпилювання ядерного палива відбувається, можливо, у два етапи:

1) початкове дроблення в момент удару, розкид фрагментів палива, утворення внаслідок цього радіоактивного забруднення ґрунту в РП;

2) подальше диспергування роздробленого палива в результаті горіння (окиснення) частинок урану або плутонію в результаті їх розлітання в середовищі, що містить кисень.

Період запуску двигунів РН характеризується потужними турбулентними потоками газів, що виходять із двигунів. Тому частинки ядерного палива будуть переміщуватись із частинками ґрунту і продуктами згоряння ракетного палива, осідаючи на площі, яка значно перевищує площу стартового комплексу.

Емпіричні залежності, що описують характер радіоактивного забруднення місцевості в РП, мають надто складний вигляд. Їх отримано для аналогічних випадків з ядерними боєприпасами, але з деякими припущеннями їх можна використати для опису розглядуваної ситуації.

Якщо удар відбувається біля поверхні землі, а зона забруднення має форму круга, то залежно від місцевих метеоумов і значення викинутої активності радіус зони може становити 25–100 м. Значення радіусів зони забруднень обмежується з умови неперевіщення допустимої дози випромінювання для α -частинок.

Переміщення радіоактивної аерозольної хмари в атмосфері описується дифузійним рівнянням Сеттона [22], яке дозволяє визначити концентрацію домішки залежно від координат джерела викидів, активності джерела і метеоумов.

У табл. 3.4 наведено результати розрахунку радіоактивної домішки вздовж центральної осі зони забруднення біля поверхні

землі за таких вихідних даних: маса урану-235 — 30 кг, у радіоактивну хмару переходить не більше як 20 % активності, швидкість приземного вітру 3 м/с, висота підняття хмари не більше ніж на 50 м.

Таблиця 3.4

Концентрація радіоактивної домішки біля поверхні землі

$R, \text{ м}$		0	0	0	0	00	000
Концентрація, Кі/л	0^{-13}	0^{-13}	0^{-11}	0^{-11}	0^{-12}	0^{-12}	0^{-13}

Ширина зони забруднення зазвичай визначається граничним значенням 10-кратного зниження концентрацій.

Результати розрахунків показують, що за найбільш несприятливих умов сформована зона забруднень може розповсюджуватись за напрямком вітру до 10–30 км і мати максимальну ширину до 1–2,5 км. Розрахункова схема має ідеалізований характер, описуючи найгірші умови забруднення, оскільки поведінка хмари визначається характером місцевих метеоумов, рельєфом, наявністю опадів. Оподи призводять до швидкого вимивання радіоактивної домішки із хмари і скорочення протяжності зони забруднень. Однак на ґрунті при цьому утворюються локальні «плями» з підвищеним рівнем забруднення. Природний радіоактивний розпад майже не впливає на зміну рівня забруднення з часом унаслідок великих періодів піврозпаду радіоактивних палив.

Зміна хмари з часом в ідеальних умовах визначається швидкістю осадження аерозолів на поверхню землі та швидкістю приземного вітру. Швидкість осадження аерозолів біля поверхні землі становить близько 10^{-3} – 10^{-1} см/с для діаметрів частинок 1–10 мкм і 1,2–2,5 см/с для 20–100 мкм. Найбільш імовірні швидкості падіння в інтервалі 0,1–1 см/с. Тоді швидкість формування радіоактивного забруднення ґрунту залежатиме від висоти хмари, і, наприклад, для висоти 50 м за швидкості осадження 1 см/с час осадження буде становити $5 \cdot 10^3$ с, тобто приблизно через 1,5 год зона забруднення ґрунту формується. Відстань, пройдену частинкою за цей час, можна визначити множенням часу осадження на швидкість вітру. Так, за швидкості вітру 3 м/с перенесення хмари становить 15 км, тобто зона забруднення утворюється на деякій відстані від місця викиду радіоактивних продуктів.

Таким чином, радіоактивне забруднення ґрунту внаслідок механічного руйнування ЯЕУ становить у локальному районі екологічну небезпеку.

Низькоорбітальні КА з ЯЕУ можуть через різні фактори припинити своє нормальне функціонування. При цьому можливе непередбачене входження в атмосферу. Таке входження найбільш імовірно під час первинного запуску на робочу орбіту або під час виведення на орбіту постійного захоронення. При цьому переважна небезпека (95 % загального ризику) пов'язана з іншою 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 (близько 70 %) дисперсних частинок ядерного палива осідає на землю в середніх широтах між 30° і 60° північної і південної широт на площі близько $9,5 \cdot 10^{13} \text{ м}^2$. Максимальні концентрації радіоактивних забруднювачів у повітрі і на землі спостерігаються приблизно через три місяці після початку випадіння. Потенційну небезпеку становлять радіонукліди — стронцій-90 та цезій-137; серед усіх продуктів ділення вони мають найбільший період піврозпаду (28 і 30 років відповідно). Результати розрахунків для теплової потужності ЯР в 150 кВт і тривалості роботи 360 днів наведено на рис. 3.1.

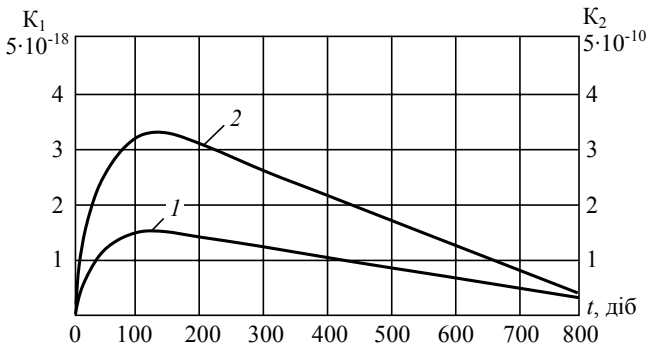


Рис. 3.1. Концентрація радіонуклідів у повітрі (1) і на землі (2)

Як видно з рис. 3.1, максимальна концентрація K_1 радіонуклідів у приземній атмосфері (крива 1) становить $1,5 \cdot 10^{-18}$ 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 $4 \cdot 10^{-0}$ Кі/м² (крива 2), що відповідає максимальній потужності експозиційної дози близько $4 \cdot 10^{-2}$ мкР/год або додатковій річній дозі 120 мР. Таким чином, додаткова доза — лише близько 0,33 % від рівня природного фону. Середня доза для населення від радіоактивних випадів, зумовлених випробуваннями ядерної зброї, оцінюється приблизно як 4 % від рівня фону.

Розрахунки для ЯР з тепловою потужністю 1 МВт і тривалістю роботи 3 роки показали, що навіть за високої теплової потужності ЯЕУ сумарна максимально можлива річна еквівалентна доза внутрішнього та зовнішнього опромінення населення Землі не перевищить $2 \cdot 10^{-4}$ бер (0,2 мбер), що більше ніж на два порядки менше за еквівалентну дозу від природних джерел.

Велику небезпеку можуть становити фракції частинок з розмірами 50–100 мкм. Ці частинки протягом перших декількох годин після утворення осідають на землю в місці руйнування ЯЕУ. Вони мають високу активність, погано розсіюються повітряними масами і можуть створювати локальне забруднення земної поверхні великої густини. Залежність потужності еквівалентної дози від часу для подібного випадку за одиничної густини забруднення і теплової потужності ЯР (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Зміна з часом потужності дози за одиничної густини забруднення і теплової потужності ЯР

Потужність дози, бер/год						

Реальні поверхневі масові густини забруднення можуть становити 10^{-6} – 10^{-10} кг/м², то значення зменшуються на відповідну кількість порядків.

Річні дози залежно від відстані до осі смуги забруднення для екстремального випадку показані на рис. 3.2 (крива 1 — діаметр частинок 200 мкм, 2 — 500 мкм, 3 — 800 мкм).

Графіки на рис. 3.2 визначають ступінь радіаційної небезпеки в середині зони забруднення без витримання зупиненого ЯР. Витримання реактора, не змінюючи загальної картини розподілення доз, знижує їх абсолютні значення у відповідну кількість разів.

Якщо спектр розмірів частинок має діапазон 10–100 мкм, то основним механізмом самоочищення атмосфери від них є гравітаційне осідання. Осідаюча хмара частинок таких розмірів розсіюється у тропосфері як хмара завислих аерозолів. Результати розрахунків свідчать:

1) максимум густини випадінь припадає на район, де осідають частинки розміром близько 30 мкм;

2) випадіння максимальної густини слід чекати через дві доби від моменту руйнування ЯЕУ в районі близько 2 тис. км на схід і 500 км на південь від місця руйнування, ширина смуги забруднення земної поверхні в максимумі густини випадінь складе близько 300 км;

3) річна доза зовнішнього опромінення в максимумі густини випадінь за мегаватних теплових потужностей ЯЕУ не перевищує 0,07–0,2 граничнодопустимої дози.

Екологічні наслідки двох відомих аварій КА з ЯЕУ можна охарактеризувати так.

У квітні 1964 р. КА «Транзит» з РІГ не вийшов на орбіту і зруйнувався на висоті близько 45 км у Південній півкулі. РІГ містив 1 кг плутонію-238 активністю 17 000 Кі. До кінця 1971 р., коли майже весь плутоній осів на землю, розрахункова концентрація радіонукліду в поверхневих водах океану в шарі 0–100 м становила $5 \cdot 10^{-16}$ Кі/л. На поверхні землі в поясі 40–50° південної широти густина забруднення ґрунту становила близько 10^{-9} Кі/м². Навіть у Північній півкулі випадіння цього радіонукліду повинні були перевищити 10^{-10} Кі/м², що дозволяє реєструвати сучасна радіометрична апаратура.

У грудні 1982 р. КА «Космос-1402» з ЯР припинив активне існування. За командою із Землі ЯР був вимкнений і ДСРБ розділила ЯЕУ на три фрагменти, які згоріли, входячи в щільні шари атмосфери, не загостривши радіаційну обстановку на землі.

3.2. Особливості забруднення водних об'єктів

Більш дослідженою і вивченою є проблема впливу авіаційного транспорту на стан поверхневих вод. У сучасних умовах водойми в зоні локального впливу авіаційного транспорту перебувають під

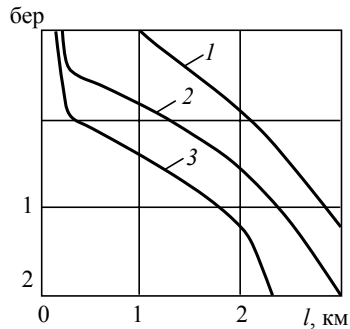


Рис. 3.2. Зміна річної дози зі збільшенням відстані до осі смуги забруднення за різних діаметрів частинок

інтенсивним техногенним впливом, який супро-воджується зміною гідрогеологічного, гідрохімічного та гідробіо-логічного режимів.

У середньому від скидання 1 м³ виробничих стічних вод забруднюється близько 60 м³ природних вод.

Джерелом забруднення водою авіапідприємств є поверхневий стік. Формуючись за рахунок дощових і талих снігових вод, а також води під час вологого прибирання приміщень зі штучним покриттям, поверхневий стік із території аеропорту акумулює в собі різні забруднювальні речовини: залишки мийних, дезінфікувальних, протиобліднювальних і протиожеледкових реагентів, продукти руйнування штучних покриттів і стирань ними шасі літаків та наземної техніки, відходи нафтопродуктів тощо.

До основних джерел забруднень поверхневого стоку належать:

- території авіаційно-технічних баз;
- майданчики для довідних робіт, миття та протиобліднювального оброблення літаків;
- перон і привокзальна площа;
- приміщення служб ПММ.

Для поверхневого стоку з території аеропортів характерна наявність:

- мінеральних суспензій;
- нафтопродуктів;
- фенолів;
- розчинених органічних сумішей та речовин, що містять азот;
- сумішей для миття літаків;
- мінеральних мастил.

Основні джерела господарсько-побутових стічних вод — будівлі і споруди для обслуговування перевезень:

- аеровокзал;
- готелі;
- їдальні;
- служби бортхарчування;
- території авіамістечок, що прилягають до аеропортів.

Джерелами виробничих стічних вод в аеропортах є:

- будівлі і споруди технічного обслуговування літаків (авіаційно-технічні бази, допоміжні виробництва);
- будівлі і споруди підсобних приміщень (склади технічного майна, автобази, пожежні депо, котельні).

У стічних водах виробничих дільниць аеропортів та інших авіапідприємств містяться:

- бензол;

- ацетон;
- нафтопродукти;
- кислоти й луги;
- розчинені сполуки різних металів — алюмінію, міді, берилію, хрому тощо.

Склад стічних вод, які скидаються, тісно пов'язаний з видами виробничої діяльності, вихідної сировини та різних додаткових продуктів, що беруть участь у технологічному процесі, а також залежить від ходу цих процесів, виду та досконалості виробничої апаратури. Так, сполуки берилію часто використовують на авіапідприємствах для підвищення зносостійкості авіаційних деталей.

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

На біофільтрах та аерофільтрах вони шкідливо впливають на мікроорганізми, які беруть участь в очищенні стічних вод, і повністю стерилізують їх або знижують ефективність біологічного очищення стічних вод. Особливо шкідливо впливають на мікрофлору очисних споруд хром, нікель, свинець, мідь, цинк, срібло і ртуть. Тому у великих аеропортах знешкодження поверхневого стоку має бути диференційованим через нерівномірний його розподіл. Насамперед необхідно очищувати поверхневий стік з ділянок технічного обслуговування (зокрема з майданчиків: миття та оброблення проти зледеніння ПК спеціальними рідинами; дегазації ПК і устаткування, яке застосовується на авіахімроботах; змиву лакофарбових покриттів і фарбування літаків; миття автотранспортної техніки і спецмашин).

3.3. Енергетичне забруднення

Енергетичні забруднення — це шуми, теплові викиди, електромагнітні поля, вібрації, ультра- та інфразвукове, а також інфрачервоне, світлове випромінювання тощо. Усі вони більшою чи меншою мірою наявні в аеропорту та прилеглих до нього територіях.

Найсуттєвішими з енергетичних забруднень у районі авіапідприємств є шумове забруднення та електромагнітне випромінювання, тому розглянемо їх більш детально. Екологічну значущість впливу енергетичних забруднень техносфери в районі авіапідприємств показано на рис. 3.3.

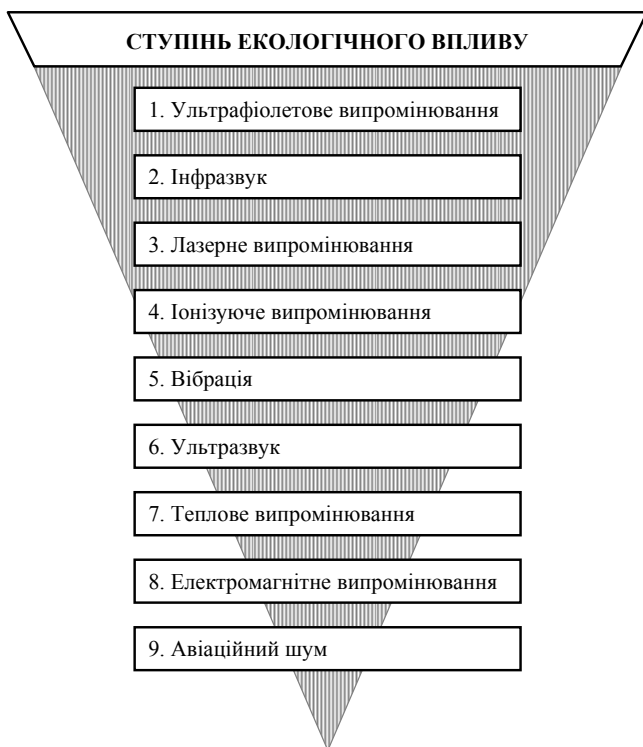


Рис. 3.3. Екологічна значущість впливу енергетичних забруднень техносфери в районі авіапідприємств

3.3.1. Електромагнітне забруднення

Засоби радіозв'язку, радіонавігації та радіолокації аеропорту випромінюють великі потоки електромагнітної енергії. Екологічна небезпека пов'язана з тим, що вони розміщені на великій за розмірами території, випромінювання характеризується різними діапазонами частот, режимами роботи та потужністю. Тому вони можуть опромінювати не тільки працівників аеропорту та пасажирів, а і велику кількість населення прилеглих до аеропорту територій.

Джерелами височастотного електромагнітного випромінювання є радіотехнічні засоби ЦА:

– радіоустаткування зовнішнього та внутрішнього зв'язку (зв'язкові, командні та аварійні радіостанції);

– радіонавігаційне устаткування (бортові обзорні радіолокатори, доплерівські радіолокатори вимірювання швидкості і кута зносу, радіовисотоміри, радіокомпаси, радіовідстанеміри);

– радіоустаткування систем посадки ПК (обзорні, диспетчерські та посадкові радіолокатори, радіопеленгатори, радіомаяки).

Оскільки радіолокаційні засоби випромінюють у НПС електромагнітну енергію, можливе утворення електромагнітних полів (ЕМП) великої напруженості — реальної загрози для живих істот.

Причинно-наслідкову схему впливу електромагнітного забруднення техносфери на людину в районі авіапідприємств показано на рис. 3.4. Взаємодіючи з живим організмом електромагнітні хвилі частково відбиваються, а частково поширюються в них і поглинаються. Міра впливу залежить від величини поглинання енергії тканинами організму, частоти хвиль (зі зменшенням довжини хвилі біологічна активність зростає) і розмірів біологічного об'єкта.



Рис. 3.4. Причинно-наслідкова схема впливу електромагнітного забруднення техносфери на людину в районі авіапідприємств

Таке поглинання електромагнітної енергії зумовить термічний ефект, що проявляється значним нагріванням тканин. Наявність в організмі людини органів із слабовираженим механізмом терморегуляції (мозок, очі, нирки, жовчний міхур та ін.) призводить до їх підвищеної чутливості до електромагнітних випромінювань. Наприклад, опромінення очей людини сантиметровими мікрохвилями може підвищити температуру в задній частині кришталика на 20 °С і спричинити катаракту.

Доведеним є факт впливу ЕМП на вищу нервову діяльність людини та біоелектричну активність мозку. Установлено, що надто чутливими до ЕМП є ендокринна, імунна і репродуктивна системи людини. Періодична дія ЕМП може призвести до стійких змін гормонального балансу, негативно впливати на генетичні структури.

3.3.2. Шумове забруднення від авіаційного транспорту

Джерелами шуму на території авіапідприємств і прилеглих до нього районів є:

- авіаційні силові установки з газотурбінними і поршневіми двигунами;
- допоміжні силові установки літаків та агрегати запуску;
- спецмашини аеродромного обслуговування різного призначення, у 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 ПК, що експлуатуються в аеропорту;
- діючими маршрутами прильоту та вильоту ПК;
- розташуванням житлової забудови відносно злітно-посадкової смуги, а також заходами, що проводить аеропорт із метою зниження несприятливої дії авіаційного шуму на довкілля.

Під час наземних випробувань авіадвигунів, зльотів і посадок ПК виникають складні акустичні коливання, які включають крім гучного високочастотного шуму, також і інфразвуки низької частоти, що підсилюють шкідливий вплив на живі організми.

В усіх країнах протягом останніх десятиліть проблема боротьби з акустичним забрудненням навколишнього середовища від авіаційного транспорту, особливо поблизу аеропортів, є актуаль-

ною. Шуму ПК присвячено більше досліджень, ніж будь-якій іншій екологічній проблемі шуму [74]. Тому під час конструювання нових літаків, вибору режимів зльоту і посадки, а також будівництва нових і реконструкції старих аеропортів ураховуються проблеми шуму, які можуть виникати.

Повітряні перевезення генерують інтенсивний шум поблизу як цивільних аеропортів, так і військових аеродромів. Зльоти літаків, як відомо, створюють інтенсивний шум, включаючи гуркіт і вібрацію. Посадка літака створює шум уздовж коридорів, усередині яких польоти виконуються, як правило, на низьких висотах. Шум створюється не тільки двигунами, але і шасі, і механізацією крила, а також коли застосовується зворотна тяга (режим реверсу двигунів) під час пробігу літаків по злітно-посадковій смузі. Більший і відповідно важчий літак створює більше шуму, ніж легший літак.

Технічне нормування шуму забезпечує максимально допустиме зниження шуму обладнання, пристроїв, транспортних засобів з умов упровадження наукових досягнень, новітніх технологій, використання нових матеріалів, удосконалення виробничих процесів. Тому технічні норми періодично переглядаються з метою більш жорстких нормативних обмежень щодо шуму. Санітарно-гігієнічні норми визначають необхідний ступінь послаблення шуму, а технічні — указують на досяжні на практиці рівні шуму технічних джерел.

Відповідно до міжнародних стандартів ІСАО шум літаків нормується залежно від максимальної злітної маси для трьох контрольних точок. Схему розташування точок вимірювання шуму показано на рис. 3.5.

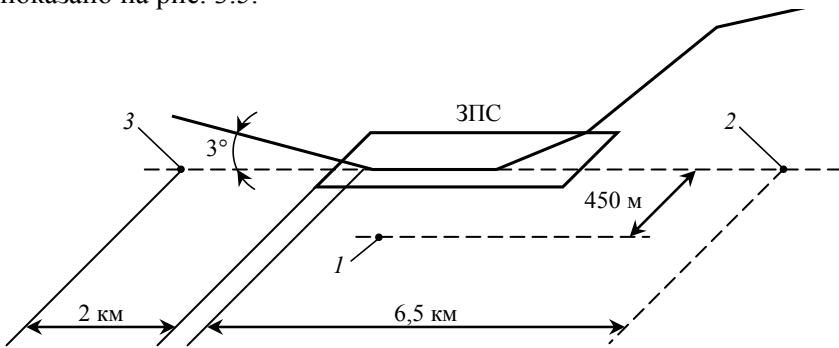


Рис. 3.5. Контрольні точки вимірювання шуму літаків:
ЗПС – злітно-посадкова смуга

Мікрофони встановлюють у таких точках: 1 — під час зльоту на відстані 450 м від осі злітно-посадкової смуги для нових типів літаків; 2 — під час набирання літаком висоти на відстані 6500 м від початку розбігу; 3 — під час заходу на посадку по стандартній глисаді на відстані 2000 м до порога злітно-посадкової смуги.

Для гвинтових літаків ЦА обмеження щодо шуму також залежать від їх злітної маси. Для важких гвинтових літаків (злітна маса перевищує 9000 кг) застосовується така сама система обмежень, що і для реактивних. Шум літаків легкої злітної маси обмежується в одній контрольній точці: під траєкторією горизонтального прольоту на висоті 300 м, коли режим роботи двигунів максимальний. У цьому випадку рівень шуму не повинен перевищувати 68 і 80 дБА для злітних мас, відповідно, менше 600 і більше 1500 кг.

ІСАО періодично переглядає і посилює норми щодо шуму нових літаків.

На 31-й Сесії Асамблеї ІСАО (вересень 1995 р.) прийнято до виконання заяву про постійну політику і практику ІСАО в галузі охорони навколишнього середовища. У заяві уточнено позицію щодо виведення з експлуатації ПК, які не задовольняють вимоги Глави 3 Додатка 16 до Конвенції ІСАО. У табл. 3.6 наведено нормативні дані шуму літаків з реактивними двигунами відповідно до Глави 3 Додатка 16 ІСАО «Авіаційний шум».

Таблиця 3.6

Нормативні вимоги до шуму літаків з реактивними двигунами відповідно до Глави 3 Додатка 16 до Конвенції ІСАО

Максимальна злітна маса M , т	0	20,2	28,6	35	48,1	280	385	400
Рівні шуму в боковій точці, EPNdB	94			80,87 + 8,51 lg M			103	
Рівні шуму заходу на посадку, EPNdB	98			86,03 + 7,75 lg M			105	
Рівні шуму зльоту, 2 двигуни, EPNdB	89			66,65 + 13,29 lg M			101	
Рівні шуму зльоту, 3 двигуни, EPNdB	89			69.65 + 13.29 lg M			104	
Рівні шуму зльоту, 4 двигуни, EPNdB	89			69.65 + 13.29 lg M			108	

Обсяги впливу шуму об'єктів транспорту істотним чином залежать від структури парку транспортних засобів, інтенсивності їх

експлуатації та забудовою поблизу транспортних магістралей. Наприклад, у ЦА впродовж 1980-х років світовий парк літаків транспортної категорії збільшився приблизно на 30 %, досягнувши до 1990 р. приблизно 12 тис. ПК. Натепер структура цього парку така, що найбільш шумні реактивні ПК становлять 75 %, решта — гвинтові літаки. При цьому 20 % парку — це літаки з турбогвинтовими двигунами, 5 % — із гвинтовими поршневыми двигунами. Значні зусилля передусім прикладалися для дослідження механізмів створення шуму, основним акустичним джерелам і розробленню мал шумних двигунів та літаків.

Результатом цих зусиль є те, що сучасні літаки, обладнані двигунами з високим ступенем двоконтурності та значним акустичним обробленням проточних каналів, на 15–25 ЕРНдБ «тихіші», ніж перші турбореактивні літаки. Динаміку зменшення шуму авіаційних двигунів з часом, починаючи з 1950-х років показано на рис. 3.6.

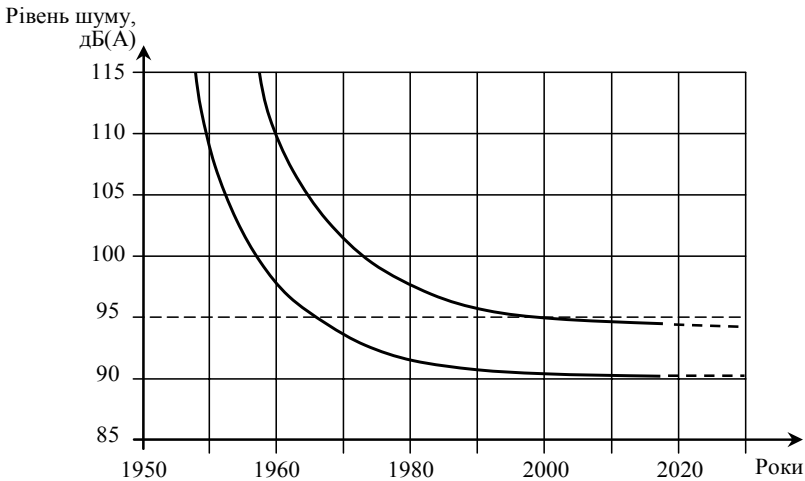


Рис. 3.6. Динаміка зменшення шуму авіадвигунів за часом

Результати у вигляді контурів шуму 65 дБА до та після виведення з експлуатації ПК, рівні шуму яких не відповідають вимогам Глави 3 Додатка 16 до Конвенції ІКАО, ілюструє на рис. 3.7.

Проте впровадження обмежень на експлуатацію наявних ПК призводить до збільшення витрат авіакомпаній і створює економічні труднощі, особливо для тих компаній, які не мають фінансових ресурсів для переобладнання своїх парків літаків.

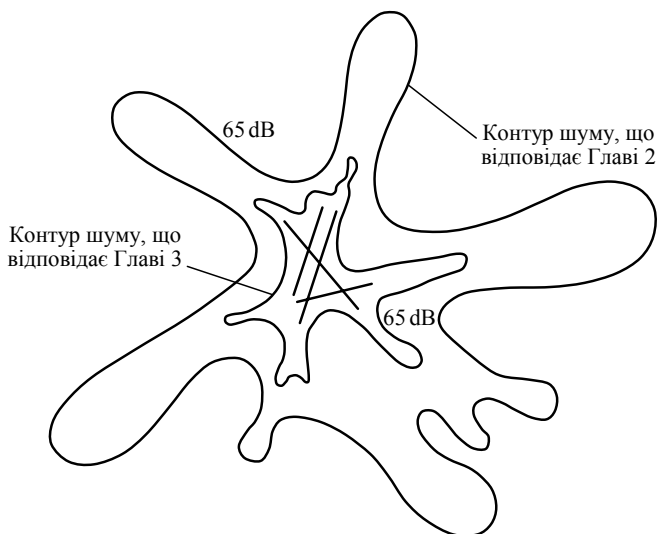


Рис. 3.7. Порівняння контурів шуму для парків ПК, рівні шуму яких відповідають вимогам норм Глави 2 та 3 Додатка 16 Конвенції ІСАО

У рамках ІСАО виконано розрахунок витрат, пов'язаних з упровадженням у міжнародну практику обмежень експлуатації ПК, які не відповідають вимогам Глави 3, на підставі концепції «чистої загальної вартості заміни більш шумного повітряного корабля на ранньому етапі». Концепція визначається зміненням основного капіталу і прибутків від виробничої діяльності авіакомпанії у зв'язку з вилученням ПК до закінчення встановленого терміну їх експлуатації.

Така вартість є істотно нижчою порівняно з одержаною на основі витрат на закупівлю нових літаків.

Наприклад, розглядалися заміни літаків старих типів В-727, В-737, DC-9 на В-737-400, MD-82 чи А-320; В-707, DC-9 на В-757, В-767; В-747-100/200 на нові модифікації В-747.

Можлива також модифікація парку літаків, що експлуатуються, з метою їх приведення у відповідність до вимог стандартів Глави 3 Додатка 16 ІСАО.

Вартість модифікації (установлення звукопоглинальних комплектів на двигуни) коливається в межах 1,5–3 млн дол. США на один літак, у той час як повна заміна двигунів на менш шумні ста-

новить 10–12 млн дол. США. Багато авіакомпаній через складний економічний стан віддають перевагу саме цим простим варіантам модифікації.

Шум, що створюється різними видами літальних апаратів, за своїми характеристиками істотно відрізняється. Це, у першу чергу, зумовлено різними джерелами шуму у цих літальних засобах.

У літаків з реактивними двигунами шум зумовлений такими причинами:

- реактивним струменем;
- турбіною;
- компресором;
- вентилятором.

Внесок кожної зі складових здебільшого залежить від ступеня двоконтурності двигуна (байпасного відношення) і режиму роботи двигуна. Реактивний струмінь і турбіна випромінюють звук переважно позаду двигуна, а компресор і вентилятор — як спереду двигуна, так і позаду. Тенденції у двигунобудуванні спрямовані на створення двигунів з високим ступенем двоконтурності — до 10–12.

Надзвукові транспортні літаки, навпаки, обладнані одно- чи двоконтурними двигунами з низьким ступенем двоконтурності. Шум реактивного струменя зумовлений турбулентною зоною позаду двигуна, тобто зоною змішування вихорів. Ця зона розташована на відстані декількох діаметрів сопла за його вихідним отвором.

Основні параметри, від яких залежить випромінювання звукових хвиль компресорів і вентиляторів – це частота обертання лопатей ротора, кількість лопатей ротора і статора, відстань між статором і ротором, діаметр компресора чи вентилятора. Зі збільшенням відстані між вхідними лопатями і ротором рівень шуму спочатку знижується, а потім набуває постійного значення.

Якщо швидкість руху лопатей перевищує швидкість звуку, то утворюються ударні хвилі, що відрізняються одна від одної неідентичністю лопатей.

Із поширенням ударних хвиль у напрямку до вхідного отвору двигуна їх неідентичність може зростати. На вхідному отворі у двигун тиск розподіляється так, що період його зміни по колу стає 2π . Цей розподіл тиску з обертанням лопатей зі швидкістю, що дорівнює частоті обертання ротора N , спричиняє випромінювання основного тону з частотою Nz , де z — кількість лопатей у колесі ротора, а також відповідних обертонів.

Турбогвинтовий двигун займає проміжне місце між реактивним і поршневим. Такі двигуни використовуються на невеликих пасажирських літаках місцевих авіаліній. Основний шум тут створюється гвинтом. Частота основного тону і обертонів також визначається частотою Nz , де N — частота обертання гвинта; z — кількість лопатей у гвинті.

Під час польоту 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.

Фізично звуковий удар створюється ударною звуковою хвилею у повітрі, яка генерується літаком, коли той летить зі швидкістю (навіть незначно) більшою, ніж локальна швидкість звуку. Ударна звукова хвиля поширюється від літака у конусоподібній формі. У точці, що розглядається, проходження ударної звукової хвилі викликає початкове раптове підвищення атмосферного тиску, яке потім завершується поступовим зменшенням до нижчого від нормального значення тиску, після чого раптово підвищується до нормального значення. Ці коливання тиску мають назву N -хвилі або ударні хвилі. Коли вони відбуваються з часовим інтервалом більшим ніж 100 мкс, звуковий удар проявляється у вигляді характерного подвійного звуку. Звукові удари високої інтенсивності можуть пошкоджувати будинки. Звукові удари низької інтенсивності можуть викликати реакцію переляку як у людей, так і у тварин. Реакція переляку є вторинним ефектом, зумовленим раптовою і непередбаченою експозицією.

Звуковий удар може бути почутий як дуже гучний і ударний звук. Його можна почути на відстані понад 50 км. Це залежить від висоти польоту та розміру літака.

Ділянку поверхні землі, на якій цей удар відчутний, називають зоною звукового удару.

Основними джерелами шуму вертольота є ротори і двигуни. У вертольотів з поршневим приводом звук створюється переважно двигуном. Багато вертольотів оснащуються газотурбінними двигунами, причому шум реактивного струменя і турбіни нижчий за шум ротора. Шум компресора, як правило, високочастотний і малий на великих відстанях. Основною причиною виникнення змінних аеродинамічних сил є взаємодія лопаті ротора з вихровим слідом попередньої лопаті. Крім того, несиметричне обтікання лопатей за

поступального руху вертольота приводить до періодичних змін аеродинамічних сил (швидкість польоту і швидкість руху лопатей поперемінно складаються і віднімаються). Ширококутовий шум виникає внаслідок змін аеродинамічних сил, які впливають на лопать, і створюються через турбулентний струмінь, викликаний попередньою лопаттю. Вплив авіації на НПС є наслідком її виробничої діяльності у результаті функціонування всього господарського механізму авіаційного транспорту.

Одним із заходів, спрямованих на охорону навколишнього середовища від несприятливого впливу авіації, є діюча система вітчизняних і міжнародних стандартів ІСАО, нормування і контролю шуму літаків, що розробляються і перебувають в експлуатації.

До обмеження шумового впливу ПК ЦА є два підходи. За першого підходу, з урахуванням санітарно-гігієнічних вимог, допустимі рівні шуму встановлюються з умов, за яких несприятливий вплив шуму на людину не виявляється (чи виявляється незначно). За другого підходу використовуються принципи технічного нормування шуму, що дозволяють регламентувати шум літаків на підставі апробованих і технічно-досяжних методів зменшення акустичного випромінювання.

Загалом акустична ситуація в районі аеропорту визначається:

- режимом функціонування авіапідприємства;
- типами ПК, що експлуатуються в аеропорту;
- діючими маршрутами прильоту та вильоту ПК;
- розташуванням житлової забудови відносно злітно-посадкової смуги, а також заходами, що проводять аеропорт із метою зниження несприятливого впливу авіаційного шуму на довкілля.

Під час наземних випробувань авіадвигунів, зльотів і посадок ПК виникають складні акустичні коливання, які включають, крім гучного високочастотного шуму, також і інфразвуки низької частоти, що підсилюють шкідливий вплив на живі організми.

■ Розділ 4

ВПЛИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА ПРИЗЕМНІ ШАРИ АТМОСФЕРИ, ТРОПОСФЕРУ ТА НИЖНЮ СТРАТОСФЕРУ _____

4.1. Випадіння кислотних опадів під час експлуатації ракетно-космічної техніки

Кислотність опадів визначається водневим показником pH . Для прогнозування кислотності можливих опадів pH і їх дії на космодром та прилеглі території необхідно мати уявлення про ступінь екологічної небезпеки тих чи інших рівнів кислотності опадів [82]. 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 — $pH \approx 4,5$, для скандинавських країн $pH \approx 4,0$, для США $pH \approx 4,0-5,0$. Дослідження впливу кислотних дощів на городні культури показали, що аж до нижньої межі $pH = 3,5-3$ зниження урожайності неістотне. Більш істотною є дія кислотних дощів у початковий період розвитку рослин.

Разове випадіння дощу навіть за відносно сильною його кислотністю (до $pH = 2,0$) не призводить до загибелі рослин. Основною є більш тривала дія кислотних дощів на зміну кислотності ґрунтів. Однак цей вплив може бути усунений за наявності в ґрунті вапняку, який чинить нейтралізувальну дію.

Згубним є вплив кислотних дощів на флору і фауну закритих прісних водойм (озер) у тих випадках, коли ґрунти або ложі водойм бідні на вапняк. У прісних озерах навіть незначне підвищення кислотності води спричиняє масову загибель фауни.

Підвищення кислотності ґрунтів є умовою вивільнення (переходу в склад розчинних сполук) іонів важких металів, які є отрутами не тільки для багатьох рослинних і тваринних організмів, але і для людини. Іони важких металів чинять (через зміну структури ґрунтів, знищення нижчих представників флори і фауни) згубну дію на кореневу систему дерев, переважно хвойних.

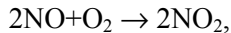
Негативні наслідки за показника кислотності 0,6 такі: усихає хвоя, часткове пошкодження клітин листя і хвої; засихають молоді початки ячменю, люцерни, капусти, огірків, картоплі тощо, «опікове» ураження рослинності.

Нарешті, з випадінням кислотних опадів руйнуються сталвні та алюмінієві конструкції, резервуари й обладнання, оскільки різко пришвидшується корозія металів, руйнуються споруди з вапняку та піщаника. Подібний негативний вплив кислотних дощів спостерігається за тривалої дії.

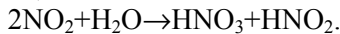
Для коректного визначення кислотності дощу необхідно враховувати вплив принаймні восьми видів іонів: трьох аніонів, що активізують кислоту (сульфату, нітрату, хлориду), і п'яти катіонів, що нейтралізують кислоту (калію, натрію, магнію, кальцію, амонію) [26].

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).

Оксид азоту, потрапляючи в атмосферу, взаємодіє з киснем повітря (особливо швидко перебігає ця реакція під час охолодження), утворюючи діоксид азоту (NO_2):



який вступає в реакцію з водою, що міститься в атмосфері і викидається з продуктами згоряння, утворюючи сильну азотну (HNO_3) і слабку азотисту (HNO_2) кислоти:



Азотиста кислота через свою нестабільність швидко розкладається, утворюючи азотну кислоту:



Сумарне рівняння утворення азотної кислоти з NO виглядає так:

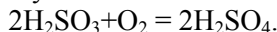


Хлористий водень добре розчиняється в атмосферних парах води, утворюючи сильну соляну кислоту.

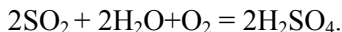
Діоксид сірки також добре розчиняється у водяних парах атмосфери (близько 40 об'ємів в 1 об'ємі за температури 20 °C); при цьому частково перебігає реакція з водою з утворенням сірчистої кислоти:



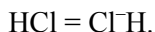
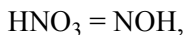
Сірчиста кислота, поглинаючи кисень із повітря, повільно окиснюється в сірчану кислоту:



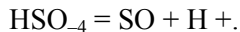
Сумарне рівняння утворення сірчаної кислоти із SO_2 записується у вигляді:



Утворені викидами діоксиду сірки, оксиду азоту і хлористого водню кислоти (сірчаної, азотної і соляної) дисоціюють з утворенням позитивно заряджених іонів водню, які і визначають кислотність середовища. Дисоціація азотної і соляної кислот перебігає в одну стадію



Сірчана кислота — двохосновна кислота, тому її дисоціація має два ступені:



Найбільш небезпечним щодо дії на НПС є «сухе» осадження кислот та їх солей, які містить хмара викидів, оскільки за дії атмосферних опадів («мокре» осадження) відбувається вимивання цих кислот та їх солей («розбавлення» їх концентрації), у результаті чого знижується рівень кислотності атмосферних водяних парів.

4.2. Утворення продуктів згоряння в зоні розташування стартового комплексу

У перші секунди після старту КА в зоні розташування стартового комплексу під час роботи ракетного двигуна виникає газоподібний клуб продуктів згоряння КРП, які залежно від складу ракетного палива і метеоумов можуть поширюватись у газовій, аерозольній і рідкій фазах. У вологих газоподібних клубах розмір крапель, що утворились на аерозольних центрах конденсації, може збільшитись до такого ступеня, що вони почнуть випадати у вигляді кислотних дощів.

У міру підняття 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. Протягом 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 (залежно 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, на старті ракети утворюються два незалежні газоподібні викиди: стартовий клуб і слід.

Процес формування стартового клубу 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 клубу — один з основних параметрів викиду. Під дією виштовхувальної сили нагріті продукти згоряння «спливають», і на висоті приблизно 100–150 м починає формуватись клуб продуктів згоряння. Формування клубу викиду закінчується після того, як тиск газів у ньому зрівняється з тиском оточуючого повітря.

Маса викиду під час старту pH збільшується за рахунок роботи двигуна з витратами q_0 і за рахунок втягнення в нього оточуючого повітря.

Систему диференціальних рівнянь, що описують динаміку стартового клубу ракети можна подати у вигляді [66]:

$$\begin{aligned} \frac{dM}{dt} &= q_0 + Es; \\ \frac{dM_i}{dt} &= q_0 C_{i0} + Es C_{\infty}; \\ \frac{d(MV)}{dt} &= \frac{q(C_{\infty} - C)M}{C}; \\ \frac{d(MH)}{dt} &= (1 - \omega)q_0 Q_T + Es H_{\infty}; \\ \rho &= \rho_{\infty}, \end{aligned} \tag{4.1}$$

де M , M_i — відповідно маси газу у викиді та i -ї домішки в ньому ($M_i = M \cdot C_i$); C_i — масова концентрація i -ї домішки; H — повна ентальпія одиниці маси газу; E — втягненість у викид оточуючого повітря; ρ , V — густина і швидкість підймання викиду; Q_T — теплотвірна здатність ракетного палива; s — поверхня втягнення у викид оточуючого повітря; p — тиск газів; $\omega = E_n / (q_0 Q_T)$ — коефіціє-

ент енергетичних утрат речовини викиду при його контакті з поверхнею землі; E_n — питомі втрати енергії при контакті викиду з підстильною поверхнею.

Індекси 0 і ∞ відповідають початковим значенням характеристик викидів і значенням відповідних характеристик оточуючого повітря.

Система рівнянь (4.1) доповнюється рівнянням стану газу у вигляді

$$p = \rho RT / \mu, \quad (4.2)$$

де R — універсальна газова стала; μ — молекулярна вага суміші продуктів викиду; T — температура газу; рівнянням зв'язку ентальпії з температурою:

$$H = C_p T, \quad (4.3)$$

де C_p — теплоємність газової суміші, якщо $\rho = \text{const}$.

Система рівнянь (4.1)–(4.3) розв'язується за таких припущень:

- 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 (4.1)–(4.3) розв'язується за заданих початкових умов, якщо $t = 0$.

4.3. Випаровування виливів компонентів ракетного палива

У процесі експлуатації КРП можна виділити такі основні стадії, під час яких можливі виливи КРП з подальшим випаровуванням і негативною дією на НПС.

4.3.1. Виробництво КРП на заводі-виробнику

На підприємствах можливі неорганізовані викиди і виливи хімічно шкідливих речовин (викиди через вентиляційні пристрої, під час зливно-паливних операцій на залізничних естакадах тощо). Можливі викиди також і під час аварій на підприємствах. Неорганізовані викиди враховують, визначаючи сумарні гранично-допустимі викиди в атмосферу і граничнодопустимі скиди у водні об'єкти шкідливих хімічних речовин.

4.3.2. Перевезення КРП залізничним транспортом

Перевезення продуктів із заводу-виробника на склади і бази зберігання, місця заправлення виробів чи випробувальні станції здійснюється залізничним транспортом у залізничних цистернах об'ємом від 25 до 75 м³. 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:

- у разі порушення герметичності цистерн (зміщення кришки люка в результаті сильного удару або корозії, а також навмисних дій) відбуваються викид парів і вилив токсичних продуктів у НПС, що у випадку зупинки в населених пунктах може створити вибухо-небезпечну або токсиконебезпечну ситуацію для населення;

- у випадку аварії залізничного транспорту з частковим або повним руйнуванням залізничної цистерни або резервуара велика кількість КРП виливається на ґрунт і створюється велика загазованість атмосфери, що потребує проведення екстрених організаційно-технічних заходів щодо локалізації виливів і ліквідації наслідків із залученням великої кількості технічних та хімічних засобів і матеріальної компенсації збитку, завданого НПС.

4.3.3. Перекачування КРП

Під час перекачування продуктів у засоби зберігання і транспортування виробу відбуваються неорганізовані локальні виливи продуктів у випадку несправності запірної арматури, трубопроводів, заправних колонок, насосних агрегатів, металорукавів тощо; через порушення ущільнень, корозію і механічні пошкодження, переповнення цистерн, резервуарів, ємкостей.

4.3.4. Перевезення КРП автотранспортом

У разі порушення герметичності резервуарів і бочок, а також у результаті можливої транспортної аварії компоненти палив можуть потрапляти в навколишнє середовище як віддалік від населених пунктів, так і в населених пунктах, що зумовлює потребу в певних організаційних заходах щодо ліквідації наслідків дії токсичних речовин на об'єкти навколишнього середовища.

4.3.5. Зберігання КРП у резервуарах, ємкостях і баках виробів

Зберігання компонентів ракетних палив здійснюється відповідно до стандартів на РКП та інструкцій з експлуатації виробів. Шкідлива дія продуктів на об'єкти НПС може проявлятися у випадках:

а) дотримання встановленого порядку і правил експлуатації та обслуговування технічних засобів збереження – природні випаровування продуктів під час зберігання, залишки, що видаляються, зачищення резервуарів, компоненти, які виносяться з території зберігання зливовими і талими водами; продукти нейтралізації окиснювачів і розчини палив у розчинниках, що утворюються внаслідок знешкодження технічних засобів і виробів;

б) порушення встановлених правил експлуатації — витоки окиснювачів з резервуарів через нещільності запірної 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 перевантаженні виробів на транспортні засоби, під час проведення регламентних робіт [79].

4.3.6. Штатне падіння відокремлюваних частин РН

Під час падіння 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.

4.3.7. Викиди компонентів палив і продуктів їх згорання під час роботи рідинних ракетних двигунів та ракетних двигунів на твердому паливі

У разі ландшафтних виливів КРП процес забруднення НПС можна поділити на два етапи:

1. Протягом декількох годин від моменту вилу (перший етап) відбувається інтенсивне випаровування компонента із дзеркала вилу і перенесення пари в напрямку середнього вітру на значній відстані від джерела вилу; одночасно відбувається вбирання компонента ґрунтом (якщо основа проникна); при цьому концентрація парів у точці спостереження плавно підвищується до певного постійного значення протягом 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, є більш тривалим (до кількох років). Відбувається капілярне підняття компонента палива до поверхні ґрунту і подальше його випаровування в атмосферу.

Перший етап характеризується великими площами забруднення і значеннями концентрацій від часток до сотень ГДК, а також швидким відновленням до фонових значень концентрацій на рівні часток ГДК у безпосередній близькості від плями виливу [79].

Загальна маса компонента, що випарувався, тривалість існування дзеркала виливу і максимальне значення площі виливу визначаються за методикою, поданою в підрозд. 3.1.

4.4. Викиди рідких ракетних палив в атмосферу

Другі ступені РН, що відпрацювали, зазвичай відділяються на висотах до 100 км і, входячи в щільні шари атмосфери, руйнуються на висотах 35–40 км залежно від конструкції ступеня та аеродинамічних факторів. Невироблені залишки палива викидаються в атмосферу. Обстеження районів падіння других ступенів РН не виявляє значних кількостей КРП, тому вважається, що залишки палива під час падіння випаровуються, переходять у газову фазу, розбавляються до безпечних концентрацій і не загрожують небезпекою для населення. Однак це припущення ніколи не перевірялось ні розрахунком, ні експериментально.

Для зменшення розмірів відчужених районів зі збереженням безпеки для населення пропонується викидати невикористані залишки палива в атмосферу після відокремлення відпрацьованого ступеня. Припускалось, що викинуті в атмосферу рідини будуть дробитись на дрібні краплі, які випаровуються в атмосферу до випадіння на поверхню, а утворені пари палива, перемішуючись з оточуючим повітрям, розбавлятимуться до безпечної концентрації. Крім того, пари палива у стратосфері будуть швидко розкладатися за хімічної взаємодії з гідроксидом ОН, озоном та атомарним киснем, утворюючи нетоксичні сполуки.

З урахуванням рівня забруднення атмосфери залежно 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 насиченої пари 61 Па за температури 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 під дією аеродинамічного напору деформуються і утворюють сплюснутий еліпсоїд обертання. Нижня основа більших крапель спочатку стає плоскою, потім втискується в середину, утворюючи «шапку» — тороїд, покритий зверху плівкою рідини, видувається вгору і лопається, утворюючи, велику кількість дрібних крапель. Тороїд, що залишається, розпадається на декілька великих крапель. Максимальний (критичний) розмір гідродинамічних стійких крапель визначається за умовою $r_{\text{кр}} = \lambda^*/4$, де λ^* — критична довжина хвилі нестійкості Тейлора:

$$\sigma^* = \sqrt{y/g\rho_p}, \quad (4.4)$$

де σ — поверхневий натяг на межі поділу рідина–газ; ρ_p — густина рідини; g — прискорення вільного падіння.

Для водних розчинів поверхнево-активних речовин близькі результати дає емпірична формула:

$$r_{\text{кр}} = 1,722 \cdot 10^{-2} \sqrt{y},$$

де r — радіус, мм; y — поверхневий натяг, Н/м.

Для НДМГ критичний розмір крапель за температури 20 °С становить 2,7 мм, збільшуючись до 3 мм за температури –30 °С і до 3,2 мм за температури — 60 °С. Для гасу і синтетичних вуглеводневих палив критичний розмір крапель не повинен істотно відрізнятись від НДМГ, тому для «умовного гасу» розрахунки швидкості падіння і випаровування виконувались для крапель радіусом 3 мм і менше.

Якщо в атмосферу викидається порівняно велика кількість рідини на висотах 3–60 км у 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 кількості крапель за розміром, близьким до експоненціального. Даних про параметри розподілення крапель за розмірами для інших

рідин, крім води, немає, і для подальших розрахунків використовувалась закономірність, отримана під час вивчення дроблення води:

$$f(r) = dn/dr = A \exp(1,56 r),$$

де A — нормувальний множник; r — радіус краплі, мм.

Для НДМГ і «умовного гасу» критичний радіус краплі дорівнює 3 мм і $A = 1,575$. Відповідні цьому розподіленню кількості і маси крапель в окремих інтервалах розмірів наведено в табл. 4.1. Як видно, краплі радіусом від 2,5–3 мм становлять усього 1,1 % від загальної кількості крапель, однак у них зосереджено 20,4 % маси рідини.

Таблиця 4.1

**Кількість і маса крапель, що утворюються
внаслідок дроблення 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 дифузиею і може бути розрахована за формулою

$$\frac{dm}{dt} = -4pDr(\rho^s - \rho^\infty)F_m, \quad (4.5)$$

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 (у розрахунку швидкості падіння крапель на значній відстані одна від одної значенням ρ^∞ можна знехтувати); F_m — поправковий множник, який враховує вплив на швидкість падаючої краплі набіглого потоку і режиму обтікання.

Оскільки експериментальних даних про значення коефіцієнта дифузії різних молекул у повітрі мало, зазвичай використовують значення, розраховані на основі кінетичної теорії для твердих невазємодійних сфер [1]:

$$D = \frac{2,628 \cdot 10^{-7}}{p(\sigma_{12})^2} \left[T^3 (M_1 + M_2) / (2M_1 M_2) \right]^{1/2},$$

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 поправковий множник (4.5), який часто називають *коефіцієнтом вентиляції* (обдувки) або вітровим множником, $F_m = Sh/2$, де $Sh = 2\sigma_m r/D$ — число Шервуда; σ_m — коефіцієнт масопередавання.

Для розрахунку числа Шервуда користуються емпіричними формулами, наприклад, формулою

$$Sh = 2(1 + 0,28Sc^{1/3}Re^{1/2}),$$

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 випаровуваної краплі T_s , необхідну для розрахунку тиску насиченої пари, можна визначити з рівняння теплового балансу:

$$L(dm/dt) = -4\pi\lambda r(T_s - T)F_T,$$

де L — теплота випаровування рідини за температури T_s ; dm/dt — масова швидкість випаровування; λ — теплопровідність повітря; T — температура повітря; F_T — поправковий множник, який враховує вплив обдування краплі на теплоперенесення, $F_T = Nu/2$, де $Nu = 2\alpha_r/\lambda$ — число Нуссельта; α_r — коефіцієнт тепловіддачі.

Для визначення числа Нуссельта також використовуються емпіричні формули [1]:

$$Nu = 2 + 0,03(Pr)^{0,33}Re^{0,54} + 0,35(Pr)^{0,35}Re^{0,58},$$

де $Pr = C_p\mu/\lambda$ — число Прандтля; C_p — теплоємність повітря за постійного тиску.

Для визначення висоти, до якої падаюча крапля повністю випаровується, а також для розрахунку числа Рейнольдса Re необхідно знати залежність швидкості падіння крапель рідини від їх розміру, висоти над поверхнею Землі, від температури і густини повітря. Розрахунок швидкості виконується за формулою:

$$v = \frac{2\rho_p gr^2}{9mF/F_s}, \quad (4.6)$$

де ρ_p — густина рідини; F/F_s — відношення реальної сили опору середовища руху краплі F до стоксової сили опору F_s .

Поправковий множник визначається за емпіричними формулами, наприклад, за такою [1]:

$$F/F_s = [1 + f(\text{Re})] [1 + f(\text{We})], \quad (4.7)$$

де $\text{We} = \rho v^2/2\sigma$ — число Вебера; σ — поверхневий натяг на межі поділу рідини–газ.

З наближенням швидкості падіння краплі до швидкості звуку різко зростає хвильовий опір. Для приблизного врахування цього ефекту у F/F_s вводиться множник $f(M) = (1 - M^2)^{-1/2}$, де $M = v/a$ — число Маха; a — швидкість звуку (залежить від температури повітря).

Для розрахунку дроблення, падіння і випаровування невикористаних залишків палива у відпрацьованому першому ступені припускається, що в атмосферу на висотах 20–50 км миттєво викидається 400 кг рідини, а температура викинутої рідини миттєво встановлюється такою, що дорівнює температурі оточуючого повітря. Потрібне розподілення за висотою параметрів атмосфери (температури, тиску, швидкості і напрямку вітру) задається згідно з відповідними посібниками або стандартами.

Для розрахунку розподілення за розмірами крапель викинутої рідини використовують рівняння (4.4). Поверхневий натяг (Н/м) для НДМГ розраховують за формулою

$$\sigma_{\text{НДМГ}} = 5,88 \cdot 10^{-2} - 1,157 \cdot 10^{-4} T,$$

для «умовного гасу» поверхневий натяг ($\sigma_{\text{ум.г}}$) взято сталим, що не залежить від температури

$$\sigma_{\text{ум.г}} = 2,77 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м.}$$

Залежність густини рідини (кг/м^3) від температури така:

– для НДМГ

$$\rho_{\text{НДМГ}} = 1094,5 - 1,03 T;$$

– для «умовного гасу»

$$\rho_{\text{ум.г}} = 1094,6 - 0,83 T.$$

Для розрахунку швидкості падіння крапель рідини використовується закон Стокса (4.6) з поправками (4.7). Поправка на число Вебера в (4.7) має вигляд:

$$1 + f(\text{We}) = 1 + 0,269 \text{ We},$$

а поправка на число Рейнольдса:

$$1 + f(\text{Re}) = 1 + \exp(a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4),$$

де $x = \ln(\text{Re})$; $a_0 = -2,007$; $a_1 = 0,8218$; $a_2 = -0,03101$; $a_3 = -0,0002744$; $a_4 = 0,0003487$ — емпірично підібрані коефіцієнти.

Рівняння, що описує швидкість випаровування крапель палива під час падіння в атмосфері, розв'язувалось числовим методом спільно з рівнянням для швидкості падіння і рівнянням теплового балансу. Початкова швидкість краплі в момент викиду рідини вважалася нульовою.

Для опису залежності тиску насиченої пари НДМГ від температури використовується емпірична формула

$$p_n = \exp \frac{21,33T - 3950}{T - 57,49};$$

для «умовного гасу»

$$p_{n(\text{ум.г})} = \exp \frac{24,03T - 3950}{T},$$

де p — тиск, Па; T — температура, К.

Результати розрахунків висоти повного випаровування h_k крапель різного початкового розміру НДМГ та «умовного гасу» для стандартної атмосфери наведені на рис. 4.1.

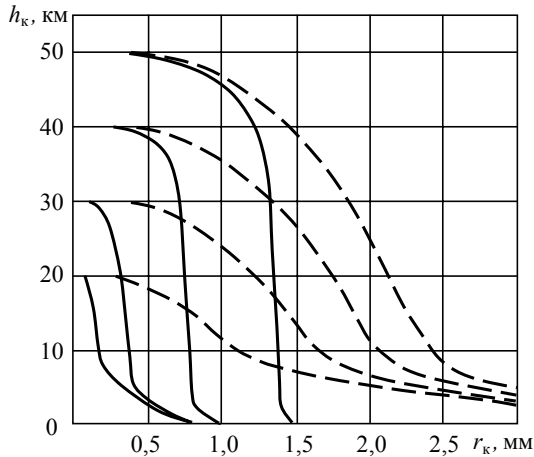


Рис. 4.1. Висота h_k повного випаровування крапель НДМГ (штрихові криві) і «умовного гасу» (суцільні криві) залежно від початкового розміру r_k крапель на висоті викиду

Як видно, краплі НДМГ усіх розмірів повністю випаровуються в атмосфері (штрихові криві); основна частина «умовного гасу» (суцільні криві) випадає на земну поверхню, забруднюючи її.

4.5. Електромагнітні забруднення районів експлуатації ракетно-космічної техніки

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 перетворення енергії електромагнітного поля в інші види (зокрема, у теплову), особливо у біологічній тканині, відбувається з високою ефективністю [78].

Дія НВЧ-випромінювання на природні комплекси і людину оцінюється за інтенсивністю випромінювання, яка визначається густиною потоку енергії (ГПЕ). У районах розташування командно-вимірювальних комплексів (КВК) може відбуватись аномальне поширення радіохвиль (явище надрефракції), яке спостерігається найчастіше 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 мікрохвильових випромінювань визначаються їх частотою і потужністю. Експерименти показали, що низькоінтенсивні (з ГПЕ близько 5 Вт/м^2) електромагнітні випромінювання в УВЧ діапазоні з частотами, характерними для природних джерел (галактичних радіовипромінювань), можуть чинити на рослини стимулювальну дію, зумовлювати підвищення біопродуктивності. Робочі діапазони частот радіотехнічних систем, які використовуються у КВК РФ, наближаються до частотних ліній галактичного радіовипромінювання на хвилі 18 см (1612, 1665, 1667 і 1720 МГц). Густина потоку енергії уже на відстанях десятків метрів знижується до значень, які використовувались в експериментальних дослідженнях.

Однак екологічні наслідки потужних мікрохвильових випромінювань інших частот можуть бути негативними. Так, за інтенсивного опромінювання в радіодіапазоні, як показали експерименти, знижується фотосинтетична активність у листях рослин, спостерігається підвищення частот хромосомних аберацій (від лат. *aberratio* – відхилення), зниження пророщуваності насіння. З іншо-

го боку, для біоти характерна адаптація до найбільш різноманітних дій, у тому числі і до НВЧ-випромінювань [1], інтенсивність же мікрохвильових 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 мікрохвильових 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 майже 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 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 у зоні випромінювання антен. Такі ситуації виникають за неправильного розташування КВК відносно місць перебування людей.

Густина потоку енергії (ГПЕ) НВЧ-випромінювання на відстані R від антени розраховується за формулою

$$\text{ГПЕ} = \frac{P_{\text{сер}}}{4p} \frac{G}{R^2},$$

де $P_{\text{сер}}$ — середня потужність радіолокаційної станції (РЛС); якщо в паспорті РЛС позначена не середня, а імпульсна потужність $P_{\text{імп}}$, то необхідно виконати перерахунок $P_{\text{імп}}$ у $P_{\text{сер}}$

$$P_{\text{сер}} = P_{\text{імп}}/N,$$

де N — шпаруватість антени, яка вказується в паспорті; G — коефіцієнт підсилення антени; якщо G не задано, то його можна визначити за формулою:

$$G = 0,7 \cdot 4\pi A / \lambda^2, \quad (4.8)$$

тут A — площа розкриття антени РЛС, м² (площа проєкції антени на горизонтальну поверхню); λ — довжина хвилі, м.

Розкриття антени для параболическої антени $A = \pi R^2$ (R — відстань від антени до точки визначення ГПЕ), для прямокутної — добуток довжини на ширину. Формула (4.8) справедлива для точки, яка міститься на електричній осі пелюстки в дальній зоні діаграми напрямленості випромінювальної антени РЛС.

Як свідчать розрахунки, ГПЕ від випромінювальних антен КВК, правильно розташованих на місцевості і піднятих на достатню висоту на відстані 50–400 м, не перевищує десятих часток вата на квадратний метр.

4.6. Теплове забруднення в зоні експлуатації ракетно-космічної техніки

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 оцінювання кількості додаткової теплової енергії, яка розсіюється в районі експлуатації РКТ, необхідно розрахувати:

- теплову енергію, що безпосередньо надходить у природний комплекс у результаті пусків РН, роботи об'єктів тепло- та енергопостачання, транспорту, промислових підприємств і комунального господарства;

- теплову енергію, що надходить у природний комплекс унаслідок викидів парникових газів (CO₂) та аерозолів.

Район експлуатації РКТ — це територія розташування космодрому. В інших випадках (у РП частин, що відділяються, на випро-

бувальних стендах виробництв і т.ін.) теплове забруднення значно нижче. Енергію ЕМП НВЧ-випромінювання, яка виділяється засобами КВК і переходить у теплову енергію в живій речовині; тут можна не враховувати внаслідок незначного впливу на загальний теплоенергетичний баланс в екосистемі. Променивим 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 у 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 тонн за рік, протягом кількох тижнів можуть бути наявними у повітрі викиди аерозолів.

Сучасні об'єми виробництва теплової енергії, яка виділяється в НПС, за різними оцінками, становить не більше 0,005 % енергії, яка надходить на Землю завдяки сонячній радіації. Тому на клімат планети ця додаткова тепла енергія істотно не впливає. Однак локальні тепловиділення через нерівномірне їх розподілення на території планети можуть досягати 5 % сонячного випромінювання [59]. Енергетична дія великого космодрому (Східний випробувальний полігон США; космодром Байконур і т. ін.) на НПС можна вважати еквівалентним дії невеликого промислового центру.

4.7. Акустичне забруднення під час експлуатації ракетно-космічної техніки

Будь-які змінні процеси в атмосферному повітрі супроводжуються виникненням пружних коливань, тобто шуму. Середньостатистичний шум (фон) у 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 великомасштабними явищами, як зіткнення атмосферних фронтів, тайфуни, урагани, землетруси, виверження вулканів, цунамі та ін. Найбільш потужними техноген-

ними джерелами акустичного шуму є масові вибухи у процесі розроблення корисних копалин, під час будівництва, скидання води з великих водосховищ, транспортні потоки тощо. Такими самими за характером і масштабом дії на фон атмосфери техногенними джерелами шуму є випробування та запуск РН і повернення на Землю їх частин, що відділяються.

Розділ екології, що досліджує утворення, поширення шумового забруднення, закономірності його впливу на живі істоти та визначає заходи попередження шумового забруднення НПС, сформувався у новий напрям — акустичну екологію [60]. 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, у тому числі в районах розташування та експлуатації КРК.

4.8. Радіоактивне забруднення

Будь-який непередбачений вхід КА з ЯЕУ в атмосферу або аварія з викидом ядерного палива у процесі виходу КА на робочу орбіту зумовлюють радіоактивне забруднення приземної атмосфери, тропосфери і стратосфери.

До виходу на робочу орбіту ЯР залишається вимкненим. Потенційну небезпеку становить ядерне паливо в активній зоні — уран-235. Однак питома активність урану дуже мала, усього $2,1 \cdot 10^{-3}$ Кі/кг. Це свідчить про те, що навіть якщо він завантажений в кількості 1000 кг, сумарна активність урану в ЯР буде незначною (одиниці Кі). Природно, що потрапляння такої активності в НПС не вплине істотно на радіаційну обстановку.

Непередбачений вхід в атмосферу відбувається з ЯР, який працював уже деякий час (чи повний заданий час). При цьому в його активній зоні буде нагромаджена певна кількість продуктів ділення, сумарна активність яких залежить від теплової потужності ЯР, тривалості його роботи і часу витримування (часу після зупинення ЯР). Значення питомої активності продуктів ділення залежно від часових характеристик наведено в табл. 4.2.

У результаті аеродинамічного нагрівання та абляції відбувається згоряння і розсіювання у вигляді частинок заданого розміру всієї конструкції, яка входить в атмосферу.

Таблиця 4.2

Питома активність (Кі/кВт) продуктів ділення залежно від тривалості роботи ЯР і часу витримування

Час витримування, 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

Оскільки у всіх конструкціях ЯЕУ радіоактивне паливо розміщується в центрі, оточене конструктивними елементами, перетворювачами енергії і зовнішньою оболонкою, воно згорає в останню чергу і має випаровуватись до частинок мікронних розмірів, які можуть залишатись тривалий час у верхніх шарах атмосфери. Аеродинамічне нагрівання відбувається на висотах понад 21 км, на нижчих висотах тіло зазвичай 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. Компоненти ЯР виноситимуться послідовно, у міру їх розплавлення. Відбивач відділяється після того, як розплавляться замки, що його утримують. Після відділення складання тепловидільних елементів відбувається їх повне згоряння і розсіювання частинок. Послідовність процесів згоряння КА з ЯР за кута входу в атмосферу 1° показано на рис. 4.2.

Згідно з даними рис. 4.2 на $h \approx 100$ км l відбувається розплавлення установки і відділення ЯР (температура близько 1100°C). У діапазоні $h \approx 80\text{--}90$ км розплавлюються холодильник-випромінювач тепло-

видільних елементів 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 елементів 5 і розсіювання радіоактивних продуктів ділення. Надалі плавляться відбивачі 6. При цьому принаймні 95 % радіоактивних матеріалів буде розсіяно у вигляді частинок розмірами близько 1 мкм. Решта 5 % повинні мати розміри 5–10 мкм.

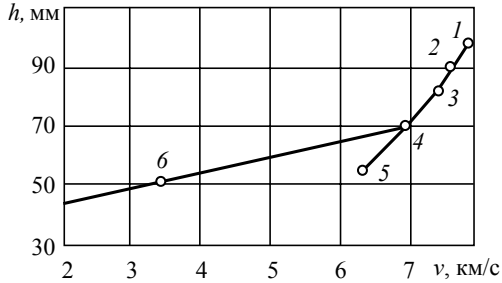


Рис. 4.2. Послідовність згоряння елементів ЯР SNAP-10

Повне руйнування ЯЕУ і подальше розплавлення радіоактивних продуктів з утворенням частинок різних розмірів значною мірою залежить від конкретних умов, які включають:

- швидкості та кути входу ЯЕУ в щільні шари атмосфери;
- розміри і конструктивні особливості ЯЕУ;
- розміри, форми та хімічний склад тепловидільних елементів і їх теплофізичні властивості.

Ураховуючи ці обставини, можна передбачити, що діапазони розмірів аерозолів у разі руйнування різних ЯЕУ і навіть однотипних за різних умов не будуть тотожними. Загальними припущеннями можна вважати такі:

1) тепловидільні елементи внаслідок аеродинамічного нагрівання руйнуються на висотах 35–50 км, основним процесом руйнування є випаровування;

2) спектр розмірів аерозолів характеризується дрібно-дисперсною (розмір частинок від 1 мкм і менше) і великодисперсною (декілька сотень мікрометрів) фракціями, причому на дрібнодисперсну фракцію подається 80–90 % усієї маси радіоактивних продуктів ділення;

3) потенційна радіаційна небезпека на земній поверхні визначається довгоживучими ізотопами: стронцієм-90, густина частинок

2,54 г/см³, період піврозпаду 28,8 років; рутенієм-106, густина 10 г/см³, період піврозпаду близько одного року; цезієм-137, густина 1,9 г/см³, період піврозпаду 30,2 року.

Характер радіоактивного забруднення стратосфери, тропосфери, приземної атмосфери і земної поверхні визначають час перебування частинок в атмосфері від моменту їх утворення до осадження на земну поверхню і швидкість їх осадження. Що цей час більший, то вищий ступінь розсіювання частинок і то менша концентрація їх у приземній атмосфері. Крім того, зі збільшенням часу осідання знижується активність частинок за рахунок природного радіоактивного розпаду. У результаті підвищується рівень радіаційної безпеки.

Час осідання частинок з різних висот наведено в табл. 4.3 (частинок густиною 10 г/см³). Як свідчать дані табл. 4.3, унаслідок високих швидкостей осідання важких частинок у розрідженій атмосфері час їх осідання з висоти $h \approx 30\text{--}50$ км майже не залежить від висоти випадіння (запис даних у формі $A + a$ означає $A \cdot 10^{+a}$).

Таблиця 4.3

Час осідання часток (с) густиною 10 г/см³

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

Як показали глобальні експериментальні дослідження випадіння невагомих домішок із мезосфери (40–80 км), час виведення домішки з мезосфери майже не залежить від висоти початкового забруднення в ній, але істотно залежить від того, у яких широтах відбува-

лось забруднення цього шару атмосфери — у полярних чи екваторіальних. Вертикальне перемішування шарів повітря на низьких широтах невелике порівняно з полярними ділянками. Період часу, необхідний для осідання половини радіоактивних продуктів з певного атмосферного шару, називається періодом половинного осідання або періодом напівочищення. Результати випробовувань ядерної зброї показали, що середній період перебування мікронних частинок у мезосфері (період напівочищення) становить близько 10 років, тобто після 10 років половина спочатку розсіяних частинок проникнення у стратосферу на $h = 38\text{--}40$ км. Середній час перебування частинок у 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 частинок у стратосфері на низьких широтах може становити від 5 до 10 років, а в полярних ділянках — близько одного року. Надходження радіоактивних частинок зі стратосфери в тропосферу залежить від кількох механізмів. Важливе значення має перенесення через розриви в тропопаузі в субтропічній зоні. Цей процес досягає максимуму пізньою зимою, зумовлюючи максимальне весняне випадіння радіоактивних частинок. Після переходу в тропосферу радіоактивні частинки досить швидко перемішуються турбулентними потоками і швидко осідають на землю в тій півкулі, куди вони потрапили. Очищення тропосфери відбувається переважно в результаті сухого осадження і вимивання дощем. Період напівочищення для тропосфери становить близько 30 діб, за деякими даними цей період становить не більше ніж 5 місяців.

Розрахунок радіоактивного забруднення атмосферних шарів виконується 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 напівочищення радіоактивної домішки, що туди потрапила. Моделі подаються у вигляді системи диференціальних рівнянь, які описують шарову зміну швидкості зниження активності залежно від періоду напівочищення шару і періоду піврозпаду радіоактивної домішки:

$$\frac{dA_1}{dt} = -k_1 A_1 - \lambda A_1;$$

$$\frac{dA_2}{dt} = k_1 A_1 - k_2 A_2 - \lambda A_2;$$

$$\frac{dA_3}{dt} = k_2 A_2 - \lambda A_3,$$

де A_1, A_2, A_3 — концентрації радіоактивних домішок відповідно в стратосфері, тропосфері і на земній поверхні; k_i — константи напівочищення відповідного шару; $k_i = 0,693/T_i$, де T_i — періоди напівочищення шару; λ — стала радіоактивного розпаду.

Таким чином, радіоактивне забруднення атмосфери, а згодом і земної поверхні визначається дисперсним складом аерозолів, що утворюються під час входу в атмосферу радіоактивних об'єктів. Завислі «невагомі» аерозолі забруднюють зовнішнє середовище глобально, поширюючись із мезосфери на обидві півкулі. Це забруднення залежить від ділянки (полярної чи екваторіальної) руйнування космічної ЯЕУ. Оскільки осідання завислих аерозолів триває декілька десятків років, недоцільно оцінювати радіаційну безпеку від випадання короткоживучих нуклідів продуктів ділення, — вони майже повністю розпадутися, не досягнувши земної поверхні. Тому більш важливо визначити дози зовнішнього і внутрішнього опроміювання, зумовлені довгоживучими ізотопами цезію і стронцію. Якщо врахувати, що ці нукліди знижують свою активність за рахунок природного розпаду приблизно в 10 разів за 100 років, то, очевидно, відбувається нагромадження цих елементів. Тому за багаторазового входження 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 надходження в атмосферу Землі космічних об'єктів з ЯЕУ.

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 граничнодопустимую дозу [39].

■ Розділ 5

ВПЛИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ 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 аерозолі, дрібнодисперсних уламків і конденсату;
- хвильова модифікація нейтральної і зарядженої компонент плазми верхньої атмосфери;
- стимулювання великомасштабних процесів і субзбудувальних 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.

5.1. Зміни в іоносфері під впливом ракетно-космічної техніки

Як свідчить аналіз фізико-хімічних процесів атмосфери [41], максимальне надходження енергії спостерігається на висоті 50–60 км, що призводить до появи максимуму температури. Шар атмосфери від 50 до 80 км належить до мезосфери, де основним енергетичним процесом є променистий теплообмін. У мезосфері спостерігається зниження температури від ~290 до 160 К у точці мезопаузи. На висоті від 90 до 400 км розташована термосфера. У 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 актив-

ності. Сонячне випромінювання впливає і на густину повітря в термосфері. Так, на висоті ~ 200 км густина повітря вдень у 1,5–2 рази вища, ніж уночі. Під час поглинання квантів ультрафіолетового випромінювання Сонця з довжиною хвилі меншою ніж 10 мкм відбувається іонізація компонентів атмосфери, тому основні області іоносфери D, E, F₁ і F₂ розташовані в термосфері. Області D, E, F₁ і F₂ іоносфери характеризуються залежно від висоти різною концентрацією електронів (від 10 до 10⁶ ел/см³), позитивних (Mg⁺, Fe⁺, Si⁺, H₃O⁺, NO⁺, O₂⁺, O⁺, H⁺, He⁺, N⁺) та негативних (NO₃⁻ (H₂O)_n, HCO₃⁻, SO_{xy}⁻ (H₂O)_n) іонів в одиниці об'єму. Область D поширюється до висоти 90 км. Для неї характерне збільшення концентрації електронів з 10 до 10³ ел/см³ вдень. Область E міститься між 90 і 140 км і концентрація електронів у ній вища на два порядки (10⁵ ел/см³). В області F₁ на висоті близько 200 км удень спостерігається максимальна концентрація електронів ($\sim 2,5 \cdot 10^5$ ел/см³), яка відсутня вночі. Максимум електронної густини в області F₂ припадає на 300 км.

Уздовж траєкторії руху ракети з працюючим двигуном в іоносфері може утворюватись область зниженої концентрації електронів Ne, яка називається «дірою» (*ionospheric hole*). Основна причина її утворення в зовнішній іоносфері (у шарі F₂ і вище) після вирівнювання тисків — дифузія продуктів згоряння та іонно-молекулярні реакції компонентів викиду (H₂O, H₂, CO₂ тощо) з іонами кисню O⁺. Молекулярні іони, що утворились, вступають у 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 істотно нижчий, ніж у навколишньому середовищі. На наступному етапі основними стають процеси дифузії і хімічні реакції.

Як свідчать результати досліджень КА «Спейс-Шаттл», у профілі Ne(*h*) утворюється діра, розмір якої через ~ 14 с після початку роботи двигунів по вертикалі досягає ~ 20 км, при цьому концентрація електронів у ній скоротилась до 50 % від фонові. До 25-ї секунди мінімальне значення Ne в «дірі» знизилось до 20 % від фонового. Через $\sim 1,5$ хв Ne в «дірі» зросла до 10⁵ см⁻³ і залишилась далі незмінною. Хмара продуктів згоряння розпливалась уздовж

геомагнітного поля і повільно переміщувалась униз зі швидкістю ~ 84 м/с. Опускання хмари зумовлене перенесенням на південь слабоіонізованої плазми продуктів згоряння нейтральним вітром зі швидкістю $\sim (40-30)$ м/с. Поперек силових ліній геомагнітного поля продукти викиду дрейфували зі швидкістю ~ 36 м/с. За даними, отриманими під час маневрів над обсерваторією Мілстоун Хілл, встановлено, що глибина «діри» істотно різна для нічних умов і вдень. У нічних умовах, починаючи з першої хвилини, зменшення N_e становить $\sim 50\%$ і залишається на одному рівні протягом $\sim 3-7$ хв. Удень максимальна глибина «діри» склала на першій хвилині 70% від фонового значення N_e , зросла за $1-3$ хв до 87% і далі ($3-7$ хв) майже не змінювалась.

Виконані експерименти дають змогу зробити такі висновки:

– «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 хв після модифікації іоносфери;

– просторовий масштаб «діри» становить сотні кілометрів;

– модифікація іоносфери зумовила збурення внутрішніх гравітаційних хвиль.

Дифузія продуктів згоряння у фонову атмосферу і реакції рекомбінації зменшують критичну частоту ($f_o F_2$) і висоту $hm F_2$, що неодноразово реєструвалось різними методами [28]. За даними праці [28] під час запуску ракети «Союз» відносне зменшення $f_o F_2$ на $\sim 10\%$ з тривалістю пониження $f_o F_2$ близько двох годин зареєстровано іоносферними станціями (AIC) Караганди і Семипалатинська.

Більш істотні зміни $f_o F_2$ реєструються під час польоту РН на $h > 200$ км. Так, під час запуску ракети «Saturn SA-9» іонозондами, розташованими на мисі Канаверал, Багамських островах та о. Сан-Сальвадор, зареєстровано зниження на ~ 38 хв значення електронної концентрації шару F_2 з $\sim 6 \cdot 10^5$ см $^{-3}$ до $\sim 3,25 \cdot 10^5$ см $^{-3}$ над Багамськими островами (приблизно удвічі). На о. Сан-Сальвадор концентрація електронів NeF_2 зменшилась у ~ 3 рази, а $hm F_2$ знизилась більше ніж на 50 км.

Розвиток іоносферних збурень залежить від радіогеофізичних умов. У геомагнітних збурених умовах імовірність відсутності збу-

рень на іонограмах в ~ 3 рази перевищує аналогічну імовірність для спокійних умов. Іоносферна збуреність після пуску РН, яка характеризується відносним відхиленням $\Delta f_o F_2$ критичної частоти шару F_2 від медіанного значення, також суттєво зростає порівняно зі спокійною іоносферою. Збурення під час запусків РН збільшуються також і з підвищенням рівня сонячної активності.

Динаміка зміни інтегральної електронної концентрації NeT , викликаної запусками КА, свідчить про різний час початку зменшення концентрації електронів для різних КА, різні тривалості існування і глибини «діри», що зумовлено 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 перетинає рівень $h = 420$ км; у 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 ($\sim 50\%$) зареєстровано на радіотрасах ATS-3, ATS-5 \rightarrow Sagamore Hill, Bermuda, для яких відстані Rrt були мінімальними. У центрі «діри» протягом декількох хвилин NeT зменшилось до $\sim 20\%$ від незбуреного значення. В обох випадках «діра» витягнута вздовж траєкторії руху ракети, її поздовжні розміри становлять $\sim 2000\text{--}3000$ км, поперечні $\sim 600\text{--}1000$ км, а час існування перевищує три години. Початковий етап зникнення електронів відбувається дуже інтенсивно і для радіотрас, що перетинають струмину продуктів згоряння, не перевищує декількох хвилин.

Слід зазначити, що експериментальних даних про «діри» в нижній іоносфері надто мало. Даних про збурення в області D У науковій літературі майже немає. У разі перетинання області E ракет з рідинним РД (6 запусків ракет «Atlas») і висотах польоту менше за 120 км Ne у струміні перевищує фонову концентрацію електронів в іоносфері, на висоті ~ 120 км концентрація електронів у струміні і фоновій іоносфері стають близькими одна до одної. Концентрація електронів у «дірі», утвореній струминою продуктів згоряння твердопаливних РД на висоті ~ 120 км, також збігається з іоносферною. Літературні джерела для ділянки від E до F дають

суперечливу інформацію про зміну концентрації електронів, тому визначити динаміку розподілу N_e в $E - F$ шарі, збуреному ракетою, майже неможливо.

Аналіз хвилинних варіацій N_e в іоносфері, отриманих на відстані ~ 2000 км від місця старту, показав, що на першій хвилині після запуску в деяких запусках зареєстровано зменшення $f_o F_2$, яка за 22 замірами становила $\sim 5\%$. Автори досліджень пов'язують зареєстрований ефект зі збуренням магнітогідродинамічних (МГД) хвиль, які рухаються факелом ракети в магнітному полі. Експериментальних даних про генерацію МГД-хвиль ракетою в нижніх (неіонізованих) шарах атмосфери в науковій літературі немає. Появу додаткового поглинання на іонограмах АІС у смузі до 5 МГц (також на перших хвилинах після запуску ракети з космодрому Плесецьк) пов'язують із можливою локальною стимуляцією висипання заряджених частинок із магнітосфери.

5.2. Збурення хвиль у нейтральному газі виробами ракетно-космічної техніки

Зовнішня межа ділянки, у якій існують хвилі в нейтральному газі, утворені в результаті роботи РД, починається з головної ударної хвилі, яка переходить униз вздовж потоку у вихідну хвилю. У цій ділянці простору, яка переміщується разом з ракетою у верхній атмосфері, існують два типи хвиль із періодами, набагато меншими за добу: акустичні і внутрішні гравітаційні хвилі (ВГХ). Межею між ними є: з боку високих частот — гранична акустична частота (найнижча можлива акустична частота $\omega_a = 0,5(g/cS)^2$, а з боку ВГХ — найвища частота ВГХ $\omega_g = (k - 1)/(g/cS)^2$. Тут g — прискорення вільного падіння; cS — швидкість звуку; $k = Cp/Cv$.

Смуга частот, яку займають акустичні хвилі, обмежена зверху частотою зіткнення нейтральних частинок. Загальною ознакою для обох гілок є проходження хвиль окремими групами (хвильовими пакетами) як у верхній, так і в нижній атмосфері.

5.3. Явища в іоносферній плазмі, викликані дією ракетно-космічної техніки

За своїми масштабами процеси в іоносферній плазмі, зумовлені функціонуванням виробів РКТ, поділяються на дві групи:

– великомасштабні процеси, які включають стимуляцію комплексу суббуревих явищ, генерацію МГД-хвиль ударними хвилями

в нейтральному газі, висипання енергійних частинок і запуск тригерних механізмів;

– збурення хвиль у плазмі, флуктуації електронних полів і модифікація функцій розподілу заряджених частинок.

Реєстрація збурень першої групи можлива як наземними, так і космічними засобами. Збурення другої групи реєструються, як правило, засобами, розташованими на борту КА.

5.4. Вплив запуску і функціонування ракетно-космічної техніки на поширення радіохвиль

Запуск і функціонування виробів РКТ впливають на поширення радіохвиль від КХВ- до НВЧ-діапазону. При цьому можлива зміна майже всіх параметрів сигналу: зміна рівня сигналу, поява розсіювання і багатопрореневості, зсуви частоти і зміни часу поширення модів сигналу, обертання площини поляризації. Частину явищ, пов'язаних зі зміною параметрів електромагнітних хвиль, що реєструються, під дією запусків РКТ, розглянуто вище, тому тут подано матеріали, які ще не розглядалися.

Рівень електромагнітних шумів у діапазоні 10 Гц – 9 кГц вимірювався в Північній півкулі в с. Стекольний Магаданської області під час маневру на орбіті «SpaceShuttle» над островом Тасманія.

Аналіз рівня електромагнітного фону в смузі завширшки 1 Гц на ряді фіксованих частот показав, що через 2 с після початку роботи двигунів «SpaceShuttle» спостерігалось значне зниження рівня фону у смузі частот 20 Гц – 1 кГц протягом однієї хвилини. Зниження рівня фону найбільш чітко помітно в нижній частині досліджуваного діапазону. Через 10 хв рівень шумів у всьому досліджуваному діапазоні відновився до вихідного стану (рис. 5.1).

Як свідчать графіки (рис. 5.1), рівень шумів цього діапазону характеризується високою стабільністю. Зниження рівня шумів зумовлено зміною показника заломлення і коефіцієнта поглинання в «іоносферній дірі»: поширення радіохвиль через ділянку пониженої концентрації, розташовану поблизу максимуму шару F_2 , аналогічне їх проходженню через розфокусувальну лінзу.

Штучно створене іоносферне вікно («діра в іоносфері») на о. Тасманія дозволило зареєструвати космічні середньохвильові радіошуми в діапазоні ~ 2 МГц, які зазвичай на земній поверхні не реєструються.

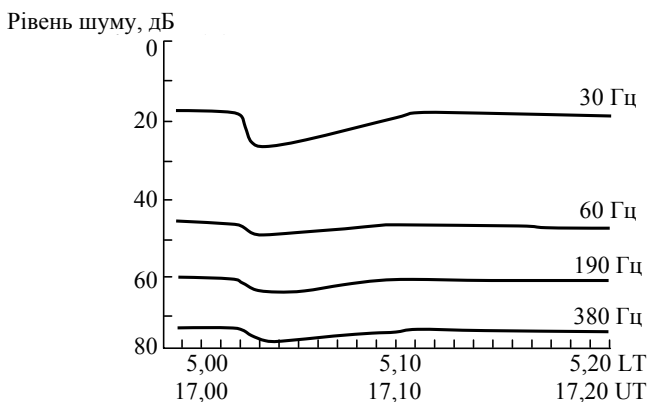


Рис. 5.1. Регістрограма КХВ-шумів у магнітосполученій точці

Маневр «SpaceShuttle» здійснено під час дуже низької сонячної активності, взимку, у передранішні години в Південній півкулі, коли електронна концентрація в максимумі шару F мінімальна. Рівень космічних радіошумів на частотах 1,07; 1,36; 1,704; 2,108; 2,75 МГц вимірювався 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 F_2 . Найбільше збільшення рівня шумів зареєстровано на частоті 1,7 МГц. Сигнал досягнув максимуму о 05.40 годині і потім став повільно зменшуватися, поки схід сонця не привів до зростання f_0F_2 і припинення реєстрації космічного шуму.

За похиленого імпульсного зондування дія іоносферних збурень на радіосигнал короткохвильового діапазону [4] визначається ділянкою іоносфери, у якій летить ракета. За даними праці [4] у нижніх шарах іоносфери (області D, E, E — F долина) істотну роль у формуванні відгуку зворотно-похилого сигналу відіграє головна ударна хвиля, яка внаслідок високої швидкості руху ракети стає відокремленою. Це призводить до збільшення розмірів ділянки зовнішньої течії. Оскільки стрибок ущільнення має (у масштабах довжини зондувальної радіохвилі) достатньо чітку межу, то плазмова частота на ударному фронті може перевищувати частоту

зондувальної хвилі. Така поверхня відбиває електромагнітні хвилі так само ефективно, як і металева поверхня, а її ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) визначається співвідношенням $\sigma = a\pi r_1 r_2$, де a — коефіцієнт відбиття Френеля; r_1, r_2 — головні радіуси кривизни поверхні в точці, де хвильовий вектор падаючої радіохвилі нормальний до ізорівня збуреної електронної концентрації. Вище за 160–180 км ЕПР зворотного розсіювання різко зменшується, оскільки розміри акустичного ударного збурення значно перевищують довжину зондувальної хвилі, а відхилення N_e на ударному фронті стають малими.

Проліт через іоносферу ракети з працюючим двигуном приводить не тільки до формування відокремленої хвилі, а і до генерації дрібномасштабних неоднорідностей. Результати радіолокаційного зондування у КХВ-діапазоні вздовж осі факела показали, що спектр відбитого сигналу значно відрізняється від спектрів, отриманих у 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 зі швидкістю ракети, то відбитий сигнал реєструється у вузькій спектральній смузі («скін-луна»). Друга складова має широкий спектр і зміщена відносно першої. Її поява зумовлена розсіюванням радіохвиль на турбулізованих дрібномасштабних неоднорідностях, діапазон швидкостей яких менший від швидкості руху ракети на число, що приблизно дорівнює швидкості витікання газу із сопла.

5.5. Оптичні явища під час експлуатації ракетно-космічної техніки

Експлуатація РКТ (запуск, робота двигунних установок на орбітах тощо) приводить до виникнення в навколосемному середовищі відносно короткочасних і довгоживучих оптичних ефектів, різних за своєю природою [40].

Результати фотографування [40] запуску КА «Космос-1715» дають змогу припустити газопилову природу утвореної хмари. Виконано оцінювання розміру частинок у вказаній хмарі (~0,03–0,07 мкм). Аерозолем у хмарі може бути конденсат водяної пари (до 75 % продуктів згоряння), яка утворюється за надзвукового розширення вихлопного газу в атмосфері і його охолодження.

Аналіз експериментальних даних свідчить, що хмара розширюється вгору і гальмується в русі вниз, у більш щільні шари атмосфери. Після завершення дифузійного процесу, коли викинута маса продуктів згоряння досягне густини фонові 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 аерономічними реакціями, що може підсилити або послабити природні емісії атмосфери.

5.6. Вплив на іоносферу продуктів згоряння двигунних установок з рідким і твердим паливом

Просторово-часові характеристики збурення в іоносфері під час запуску РН істотно 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 теоретичного оцінювання реакції іоносфери на запуск РН необхідно в кожному конкретному випадку виконати розрахунки за моделями, які відповідають різним іоносферним областям (D, E, F₁, F₂) з урахуванням дії продуктів згоряння палива на фотохімічні процеси в цих областях.

5.7. Вплив геліогеофізичних умов під час запусків ракет та характеристики іоносфери

Геліогеофізичні умови включають час доби, сезон, сонячну активність, геомагнітну широту, а також поняття спокійного і збуреного середовищ. Вплив цих умов на характеристики іоносферних збурень може бути істотним, хоча досі під час планування запусків ракет цей фактор не враховується. У цій ситуації оцінювання і вибір найбільш сприятливих геліогеофізичних умов для запусків ракет, коли амплітудні та просторово-часові характеристики збурення мінімальні, мають велике наукове і практичне значення.

Для оцінювання обрано один з аналогів РН «Протон», який має протяжну активну ділянку польоту. Зроблено припущення, що РН можна запускати на екваторіальних і субекваторіальних широтах. Усі розрахунки виконано для 12-ї години за місцевим часом LT (день) та 0 години LT (ніч), рівня сонячної активності $F_{10,7} = 100-120$ (мінімум активності) та $F_{10,7} = 250$ (максимум), зимово-

го і літнього сезонів. Аналіз результатів розрахунків виконано лише за варіаціями відношення $Ne(r, t, h)/Ne_0(h)$, при цьому увага приділяється мінімальним значенням $(Ne/Ne_0)_m$, часу t_m досягнення цих значень, а також відновлення Ne до природного фону.

Як показали розрахунки, в області D (50~ h ~90 км) сонячна активність на поведінку Ne майже не впливала. Аналогічний висновок можна зробити і щодо геомагнітної широти.

Роль часу доби істотно залежить від висоти. У нижній частині області D ($h \leq 70$ км) у разі викидів продуктів згоряння в нічних умовах Ne не змінюється, що істотно відрізняється від значних варіацій Ne під час денних запусків. Відмінність у 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 уночі незалежно від r Ne знижується до менших значень, а на $r = 1$ км скорочується і час досягнення мінімальних значень $(Ne/Ne_0)_m$. Така поведінка Ne пояснюється тим, що вночі на цих висотах у складі позитивних іонів у фонових умовах уже переважають іони — зв'язки з високим коефіцієнтом рекомбінації і деяка додаткова їх кількість, яка утворюється з викидом H_2O , слабо впливає на ефективний коефіцієнт рекомбінації α_{ef} 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 і від урахування або вилучення зі схеми реакцій іона Cl^- . Без урахування Cl^- на висоті $h = 50$ –60 км вдень у зимовий сезон падіння електронів (в одиницях Ne/Ne_0) більше, ніж влітку, з урахуванням цього іона – деяке короточасне зростання Ne , яке відсутнє влітку на $r > 0,5$ км, з подальшим спаданням до менших значень. Ці відмінності у змінах Ne під час запусків РН зумовлені сезонними варіаціями малих нейтральних складових (насамперед H та O) і відповідними відмінностями концентрацій негативних іонів у фонових умовах. На $h = 70$ –90 км вплив сезону незначний.

Описані особливості поведінки Ne залежно від часу доби і сезону року наведені в табл. 5.1 і 5.2 відповідно.

Таблиця 5.1

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. У чисельнику — мінімальні значення $(Ne/Neo)_{\min}$, у знаменнику — час досягнення мінімуму t_{\min} (с).

Таблиця 5.2

Вплив сезону на зміни електронної концентрації в області D

h, км	Сезон			
	літо		зима	
	$(Ne/Neo)_m$	t_m, c	$(Ne/Neo)_m$	t_m, c
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. У чисельнику — $(Ne/Neo)_m$ з урахуванням іона Cl, у знаменнику — без урахування цього іона, ефект росту Ne/Neo в зимових умовах на $h = 50, 60$ км у таблиці не вказано.

В області висот E, E–F (див. підрозд. 5.6) просторово-часові та амплітудні характеристики збурення Ne зовсім малі. Через відсутність негативних іонів, переважання в E, E-областях у будь-яких умовах звичайних молекулярних іонів і слабке їх перетворення (без викинутих мас продуктів згоряння) у складні іони з великим коефіцієнтом дисоціативної рекомбінації. Вплив досліджуваних геліогеофізичних умов на Ne дуже малий, оскільки їх урахування не справляє будь-яких принципових і значних змін у фоновій іоносфері.

Характерні особливості поведінки Ne в області F₁ іоносфери можна визначити таким чином. У нічних умовах з урахуванням точності розрахунків будь-яких змін Ne на всіх висотах і геомагнітних широтах не відбувається для обох сезонів і будь-яких

значень сонячної активності. В умовах дня відбувається зниження N_e , яке підсилюється зі зростанням h і зниженням сонячної активності $F_{10,7}$. Якщо $F_{10,7} = 120$, взимку зниження N_e більше, а якщо $F_{10,7} = 250$, навпаки, менше, за винятком $h = 200$ км. Більш сильний вплив у цілому запуски РН справляють на екваторіальну іоносферу (полігон Куру). Час досягнення мінімальних значень $(N_e/Ne)_m$ на всіх висотах слабо залежить від часу доби, сезону, $F_{10,7}$, геомагнітної широти і визначається здебільшого лише самою висотою (зменшується зі зростанням h) у результаті збільшення коефіцієнтів дифузії.

Указані особливості варіації N_e/Ne наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Варіації $(N_e/Ne)_m$ в області F_1 у 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. Плесецьк)				
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

У табл. 5.3 подано зміни концентрації, спричинені різним фоновим складом іонів в іоносфері, — що більше початкове відношення концентрацій $[O^+]/Ne_0$, яке, своєю чергою, залежить від h , часу доби, сезону, геомагнітної широти, то сильніша дія продуктів згоряння.

В області F_2 іоносфери вплив усіх досліджуваних геліогеофізичних факторів проявляється найбільше.

Оскільки вибрана для розгляду РН викидає на цих висотах приблизно однакові кількості продуктів згоряння, зміни Ne , що спостерігаються, пов'язані виключно з геліогеофізичними умовами. У цілому, за винятком випадку — ніч, зима, $F_{10,7} = 250$ на середніх і субавроральних широтах, дія продуктів згоряння на область F_2 , з одного боку, помітно зменшується зі зростанням h , однак, з другого боку, час існування області зі зниженою Ne залежить від висоти: на $h \geq 320\text{--}340$ км вона зберігається з $Ne/Ne_0 \approx 0,67\text{--}0,83$ понад 104 с, у діапазоні $h \approx 250\text{--}300$ км відновлюється до фону до моменту $t \approx 10^4$ с.

Виявлений вплив різних геліогеофізичних факторів на стан F_2 -області іоносфери пояснюється залежними від широти добовими, сезонними варіаціями та змінами із сонячною активністю трьох іоносферних характеристик: фонового складу іонів (тільки на $h < 270\text{--}290$ км, механізм аналогічний описаному вище для області F_1), висотного розподілу $Ne_0(h)$, температури і густини нейтральної атмосфери, зміна яких зумовлює відповідні варіації коефіцієнтів молекулярної дифузії D_i , унаслідок чого продукти згоряння начебто «довше» перебувають на заданій відстані r , що викликає більше зниження Ne (найбільш помітно це на $h > 270\text{--}290$ 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. Під час запусків РН у будь-яких геліогеофізичних умовах зміни в шарі E і міжшаровій області E- F незначні.
3. Найменше впливають на F_1 -область запуски РН вночі незалежно від сезону, сонячної активності, геомагнітної широти.
4. «Сприятливі» геліогеофізичні умови за ефектами у F_2 -області потрібно обирати з урахуванням місцеположення космодрому, про-

тяжності активної ділянки траєкторії і типу РН. Оскільки в останні роки спостерігається тенденція до скорочення активної ділянки польоту РН, то область $200 \text{ км} \leq h \leq 270\text{--}290 \text{ км}$ є найбільш важливою.

5.8. Тригерні ефекти в іоносфері під час запуску ракет

Під тригерним ефектом розуміють стимулювання запуском РН або роботою ДУ РБ висипання енергійних електронів в атмосферу Землі. Слід зазначити, що прямих експериментальних даних про таке явище під час запусків РН немає. Однак існують непрямі припущення про можливі локальні висипання електронів унаслідок запусків ракет у субавроральній зоні [70].

Так, за даними спостережень на трьох геофізичних обсерваторіях Архангельського полігону після запуску ракет з космодрому Плесецьк у 1991–1993 рр. виявлено ряд змін у магнітному полі і в поведінці іоносферних параметрів, які можна пов'язати з розвитком суббуревих явищ, стимульованих запуском РН (див. підрозд. 5.1). У науковій літературі є також відомості про активні експерименти в середньоширотній і авроральній іоносфері на $h > 100 \text{ км}$, пов'язані із стимульованим висипанням енергійних електронів. У цих експериментах здійснювалась імпульсна або безперервна інжекція плазми та електронів, викидалися плазмотворювальні сполуки (Ba, Cs). Загальною ознакою цих експериментів було виникнення у верхній атмосфері іонізованого утворення і підвищення провідності середовища. Зміни потоків енергійних електронів, що висипаються (як збільшення, так і зменшення), спостерігались і під час викидів плазмогасильних сполук (H_2O , CO_2) в авроральній іоносфері, які також змінювали електронну концентрацію та провідність середовища.

Подібні ефекти можливі і під час запусків РН, оскільки з ДУ ракет викидається високошвидкісна плазмова струмина, а сам політ ракети супроводжується викидами продуктів згоряння, які є плазмогасильними сполуками. Для оцінювання впливу на іоносферу стимульованого висипання електронів можна скористатись фотохімічною моделлю [32], яка враховує складний комплекс процесів взаємодії енергійних частинок електронів зі 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 -го компонента електронним ударом; Q_{ej} і Q_{kj} — відповідно швидкості утворення компонента і його загибелі за рахунок хімічних та радіаційних процесів.

Для розрахунку проходження пучка електронів через атмосферу з урахуванням втрат їх енергії на дисоціацію, іонізацію і збудження основних нейтральних компонентів повітря N_2 , O_2 , O використано напівемпіричний метод [23], розроблений для розв'язування такого типу задач.

Система нерозривності для всіх указаних компонентів доповнена рівнянням для розрахунку температури електронного газу з урахуванням нагрівання потоками електронів, що висипаються.

Результати розрахунків профілів $Ne(h)$ для фонових умов (пунктирна крива) і для різних моментів часу показано на рис. 5.2.

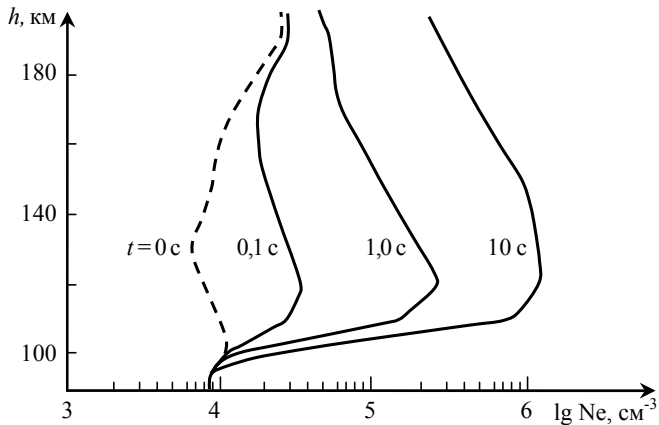


Рис. 5.2. Профілі електронної концентрації в умовах тригерного ефекту

Як видно з рис. 5.2, стимульоване висипання електронів приводить до значного збільшення Ne і утворення максимуму на $h = 120$ км, причому за час експерименту $t = 1$ с 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 зростання Ne (до двох порядків порівняно з фоновим значенням).

Результати розрахунків дозволяють зробити висновок: якщо запуск РН здатен викликати висипання енергійних електронів, то електронна концентрація в іоносфері в таких умовах може зрости до рівня на $h = 120$ км, який спостерігається під час природних електронних висипань, а інтенсивності деяких емісій можуть навіть переважати ті, що спостерігаються в умовах природних полярних саяв, що дозволяє стверджувати про можливість діагностики «тригерних ефектів» під час запусків ракети як радіофізичними, так і оптичними методами.

Ураховуючи значні просторові масштаби ділянки вздовж траєкторії РН, у якій генерується тригерний процес, а також велику тривалість самопідпримуваного збільшення потоку авроральних електронів, яка досягає три-п'ять годин в оптимальних для розвитку цього процесу умовах, можна судити про можливість генерації великомасштабних збурень, найбільш імовірних під час запусків РН полігону Плесецьк. Як відомо, збурення такого роду призводять до помітних порушень поширення радіохвиль на наземних і наземно-космічних лініях зв'язку, управління, навігації, впливають на функціонування штатних радіотехнічних комплексів різних систем, які базуються в північних широтах.

5.9. 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 у нижній термосфері ($h = 100\text{--}200$ км), інші гази зі складу продуктів згоряння є малими складовими. Під час перемішування продуктів згоряння з компонентами навколишнього середовища можливе виникнення достатньо стійких за часом великомасштабних ділянок зі зміненим відносним складом.

Викид продуктів згоряння ракетного палива супроводжується розширенням хмари продуктів згоряння і витісненням оточуючого атмосферного газу у процесі вирівнювання тиску в зоні викиду. Релаксація продуктів згоряння в атмосфері відбувається в ре-

зультаті 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 у дві стадії:

1. Гідродинамічне розширення до поперечних розмірів радіуса R_0 , за якого вирівнюються тиски у 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 з урахуванням її початкового дифузійного радіуса R_0 .

Найбільш значних змін нейтрального складу атмосфери можна очікувати в інтервалі висот $h = 100\text{--}200$ км, на який припадає активна ділянка траєкторій польоту більшості РН.

Розрахунки просторово-часових параметрів сліду продуктів згоряння для широти полігону Плесецьк були виконані для найбільш характерних і важливих для верхньої атмосфери складових, що містять водень $\text{H}_2(\text{H})$, H_2O , а також CO_2 у зв'язку з важливою функцією цього компонента в тепловому балансі нижньої атмосфери.

У праці [23] розглянуто тривимірну модель великомасштабного і глобального розподілу газів, які утворюються у верхній атмосфері в результаті роботи ракетних двигунів. Для викиду 5 т Н в інтервалі висот $h = 100\text{--}200$ км удень на середніх широтах отримано розміри хмари в горизонтальному напрямку $R_0 = 3$ км на $h = 100$ км і $R_0 = 100$ км на $h = 200$ км.

Висотний розподіл частки антропогенного водню, визначеної як $\frac{n - \bar{n}}{n}$, де \bar{n} — фонова концентрація водню в центрі хмари через дві, п'ять і десять діб після викиду показано на рис. 5.3.

Велике перевищення інжектowanego Н над фоновим на висотах $h = 100\text{--}200$ км зберігається навіть через десять діб після викиду, у той час як на $h > 300$ км частка антропогенного водню становить лише кілька відсотків від його фонові концентрації.

Така зміна частки антропогенного водню пояснюється у праці [23] різким збільшенням з висоти коефіцієнта молекулярної дифузії, а також сильним впливом процесу витікання Н із верхньої атмосфери на великих висотах.

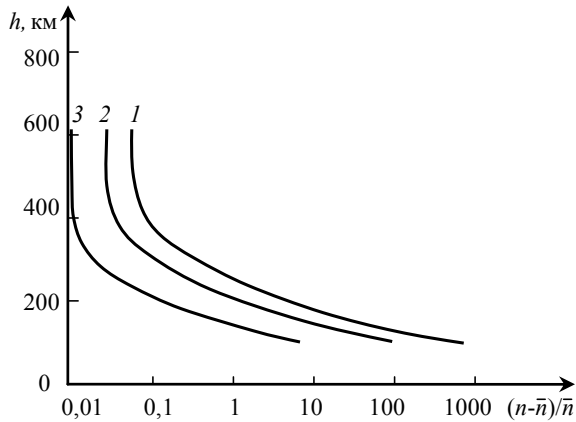


Рис. 5.3. Висотний розподіл частки антропогенного водню в центрі хмари через дві (1), п'ять (2) та десять (3) діб

На рис. 5.3 подано розрахункові горизонтальні розподіли відносного перевищення антропогенного N над фоновим на $h = 150$ км через дві, п'ять, десять діб після викиду (суцільні криві), а також за гіпотетичної серії через п'ять діб (пунктирна крива). Видно, що концентрація N перевищує фонову в радіусі 100 км від місця викиду.

Виконані у працях [23; 52] розрахунки показали великий вплив геліогеофізичних умов (зокрема, рівня сонячної активності) під час пусків ракет на ступінь антропогенного забруднення верхньої атмосфери. Так, завдяки тому, що за низької сонячної активності уповільнюється процес витікання N і збільшується його фонові концентрація у верхній атмосфері, ефект одиночного викиду N у таких умовах виявляється малим, однак різко зростає ефект серії викидів. Згідно з розрахунками, у результаті проведення серії пусків ракет з інтервалом п'ять діб за низької сонячної активності частка антропогенного водню відносно фонового може досягти більше десятка відсотків у глобальному масштабі.

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 40 т CO_2 в інтервалі $h = 100\text{--}200$ км, показано на рис. 5.4.

Завдяки набагато меншому коефіцієнту молекулярної дифузії $D(CO_2)$ порівняно з $D(H)$ навіть через 10 діб внесок антропогенно-

го CO_2 в його загальний вміст більший, ніж аналогічний внесок водню. Водночас мале значення коефіцієнта дифузії зумовлює більш повільне горизонтальне розпливання хмари CO_2 . Як показують розрахунки, хмара CO_2 за час близько п'яти діб розширюється до розмірів кількох сотень кілометрів, при цьому концентрація знижується дуже повільно. Це, своєю чергою, означає, що у випадку проведення серії пусків ракет з інтервалом, наприклад п'ять діб, CO_2 буде нагромаджуватись значно швидше, ніж Н.

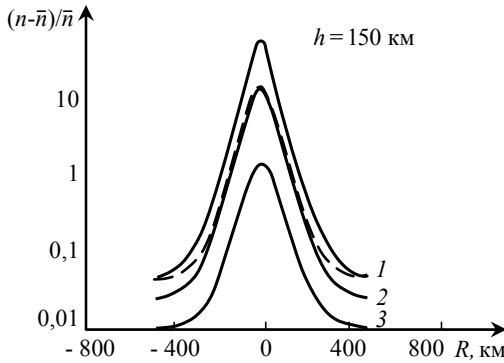


Рис. 5.4. Горизонтальний розподіл відносного перевищення антропогенного водню над фоновим на висоті 150 км через дві (1), п'ять (2) та десять (3) діб — те саме для серії пусків з інтервалом п'ять діб

З урахуванням процесу фотодисоціації CO_2 , що стримує нагромадження цього компонента у верхній атмосфері, у випадку вказаної серії пусків ракет збільшення частки CO_2 порівняно з одноразовим викидом не перевищують одного порядку фонових значення.

Вплив сонячної активності і сезону на розподіл антропогенного CO_2 визначається насамперед зміною коефіцієнта молекулярної дифузії. Максимальне нагромадження CO_2 у верхній атмосфері, як і нагромадження водню, буде відбуватись за низької сонячної активності та в зимовий сезон (рис. 5.5).

Іншим видом дії РКТ на верхню атмосферу можуть бути теплові ефекти, викликані з процесом термалізації продуктів згоряння в атмосфері за гальмування потоку газів продуктів згоряння ДУ, що супроводжується перекачуванням енергії частинок продуктів зго-

ряння на поступальні, обертальні і коливальні степені вільності атмосферних частинок.

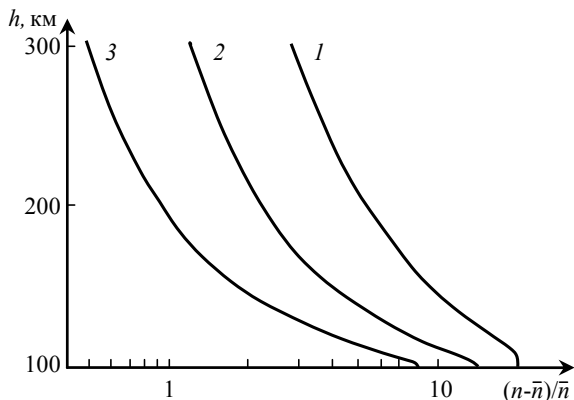


Рис. 5.5. Висотні розподіли відносної частки CO₂ в місці викиду через дві (1), п'ять (2) та десять (3) діб

Для ілюстрації можливих теплових ефектів дії продуктів згоряння ракетного палива на атмосферний газ у табл. 5.4 наведено результати розрахунків для РН «Ангара» середнього класу. Тут подані характерні радіуси циліндричної ділянки атмосфери $R_{\text{тепл}}$, що оточує траєкторію руху РН і містить речовину із запасом теплової енергії, що дорівнює кінетичній енергії продуктів згоряння, викинутих на кожному відрізку траєкторії.

Таблиця 5.4

Оцінювання теплового ефекту продуктів згоряння РН «Ангара»

Висота h , км	100	120	150	170	190
$T_{\text{атм}}$, К	205	377	706	834	917
χ , см ² с ⁻¹	1,0·106	3,0·107	4,0·108	1,0·109	4,0·109
$\tau_{\text{тепл}}$ (атм), с	2,0·105	2,0·104	7,0·103	4,0·103	2,0·103
$R_{\text{тепл}}$ (атм), км	7,03	15,6	15,8	21,1	26,3
$H_{\text{атм}}$, км	6,0	11,0	24,0	30,0	40,0

Розрахунки $R_{\text{тепл}}$ виконано за формулою:

$$R_{\text{тепл}} = [12q\varepsilon / (3\pi k H_{\text{атм}} T_{\text{атм}} V_p)]^{0,5},$$

де q (кг/с) — викиди продуктів згоряння; $\varepsilon = 7000$ ккал/кг — питома теплота горіння ракетного палива; k — стала Больцмана; V_p — швидкість потоку продуктів згоряння вздовж траєкторії польоту РН.

У табл. 5.4 наведено також висотний розподіл фонові температури $T_{\text{атм}}$, коефіцієнти температуропровідності верхньої атмосфери χ і характерні терміни релаксації температурних неоднорідностей у природній верхній атмосфері, розраховані як

$$\tau_{\text{тепл(атм)}} = H_{\text{атм}}^2 / 2\chi.$$

З аналізу отриманих даних видно, що просторові масштаби теплового збурення середовища з підвищенням температури до 2 разів на $h \geq 150$ км значно менші від характерних масштабів атмосфери $H_{\text{атм}}$, тобто релаксація до фону буде перебігати в часі, набагато меншому від значень $\tau_{\text{тепл(атм)}}$.

Однак на $h = 100\text{--}120$ км, де $R_{\text{тепл}} > H_{\text{атм}}$, теплова дія РН «Ангара» істотно більша.

■ Розділ 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 у гомошарі відносний склад основних компонентів атмосфери не змінюється. Шар атмосфери 30–90 км називається *хемосферою* через хімічні та фотохімічні реакції, що перебігають у ньому між усіма компонентами. Залежно від процесів, які відбуваються в тому чи іншому шарі, атмосферу Землі поділяють на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу, іоносферу (рис. 6.1).

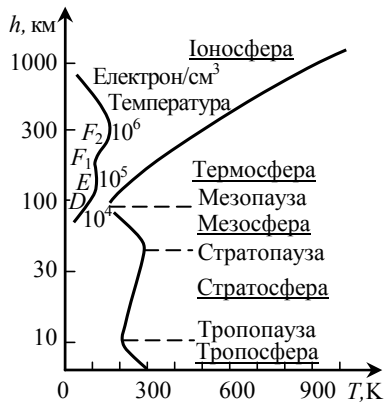


Рис. 6.1. Структура атмосфери

Межі між шарами називаються відповідно *тропопаузою*, *стратопаузою*, *мезопаузою*, *іонопаузою* [41]. До стратосфери належить шар з нижньою межею 10 км у полярних широтах і 18 — в екваторіальних і верхньою межею приблизно в 50 км. В області випромінювань 290–170 нм до висоти близько 50 км (межа стратосфери — стратопауза) перебігають реакції фотоіонізації молекул O_2 з утворенням атмосферного кисню, який взаємодіє з молекулами O_2 , утворюючи молекули озону:



У результаті в атмосфері на висоті 20–25 км, а за деякими даними на висоті 30–50 км, утворюється озоновий шар з максимальною концентрацією озону 10^{12} – 10^{13} молекул/см³.

Озон — важлива складова атмосфери, яка інтенсивно поглинає ультрафіолетове випромінювання Сонця у верхній і середній атмосфері, сприяючи нагріванню стратосфери і формуванню вертикального розподілу температури. Зміна температури спричинює збурення і циркуляцію атмосфери. Озон, незважаючи на відносно малу його кількість, відіграє вагомую роль у формуванні ультрафіолетового режиму на поверхні Землі. Так, зниження загального вмісту озону внаслідок природних або антропогенних причин на 1 % може призвести до збільшення кількості захворювань раком шкіри на 2 %. Водночас збільшення концентрації озону в нижніх шарах тропосфери спричинює токсичну дію на рослинність, органи дихання людини і тварини.

Усе це свідчить про необхідність і важливість дослідження дії на озон РКТ як одного з можливих антропогенних джерел його руйнування.

6.1. Механізми руйнування озону під час запусків ракет

Існує кілька механізмів дії запусків РН на озон, які мають різну природу.

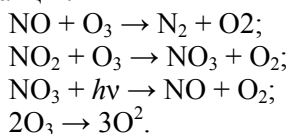
Один з них пов'язаний з розігрівом повітря у факелі РД і в головній ударній хвилі, яка утворюється під час польоту РН. Ураховуючи невеликий потенціал дисоціації O_2 , можна чекати помітного його руйнування.

Основний вплив на озон під час запусків РН справляють озonoактивні компоненти у струмені продуктів. Ракети викидають значно меншу кількість цих компонентів порівняно з відомими наземними джерелами забруднень (наприклад, викидами промислових підприємств). Однак, на відміну від них, продукти згоряння РН надходять безпосередньо у стратосферу без трансформації і вимивання в тропосферу.

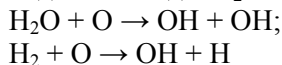
Вплив на стратосферний озон продуктів згоряння різних ракетних палив визначається оксидом азоту і порівняно малими кількостями озonoактивних компонентів — оксиду вуглецю, вільних радикалів і атомів (ОН, Н, О, N), які містяться в цих паливах. У продуктах згоряння твердих ракетних палив міститься за масою до

20 % хлору і його сполук, до 50 % аерозолію оксиду алюмінію (більш детально склад продуктів згоряння розглянуто в розділі 2). Ракети викидають велику кількість газів, частина яких викликає руйнування озону (оксиди азоту NO_x , хлорні сполуки), а деякі можуть стримувати його руйнування (водяна пара, вуглекислий газ, метан) за рахунок перетворення руйнівних агентів у неактивну фракцію. При цьому останні, які містяться у великих кількостях у продуктах згоряння як рідких, так і твердих палив, є радіаційно-активними і можуть впливати на тепловий режим атмосфери.

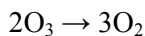
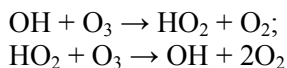
Під час викидів NO_x відбувається інтенсивне руйнування озону ділянки висот 18–37 км, наприклад унаслідок таких каталітичних реакцій:



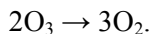
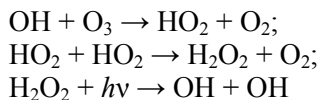
Під час викидів H_2O і H_2 в атмосферу:



відбувається руйнування озону унаслідок таких каталітичних циклів:

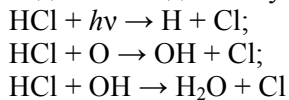


або

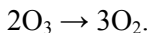
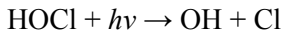
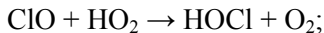
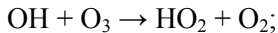
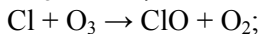
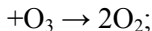
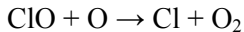
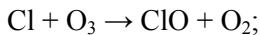


У цьому випадку найбільш інтенсивно озон руйнується у тропосфері $h < 10\text{--}14$ км і верхній стратосфері $h > 35$ км.

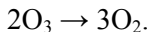
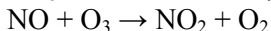
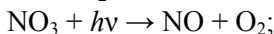
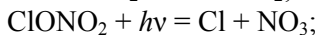
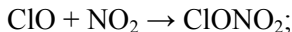
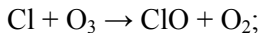
Під час викидів HCl у результаті реакцій з утворенням Cl :



відбувається руйнування озону унаслідок таких каталітичних циклів:

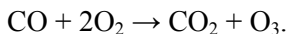
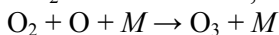
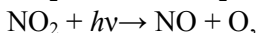
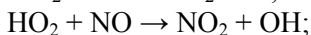
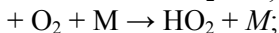
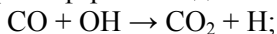


На хлорний каталітичний цикл руйнування озону істотно впливають викиди NO_2 :



Останні цикли свідчать про важливість урахування взаємодії між компонентами продуктів згоряння, що викидаються, і в цілому про складність механізмів дії на озон.

Оксиди вуглецю, які містяться в продуктах згоряння ракетного палива, здатні зменшити ступінь зниження кількості озону в стратосфері і збільшити його концентрацію в тропосфері. Під час викидів Cl_2 унаслідок сильного зворотного температурного зв'язку може спостерігатись істотне збільшення O_2 на високих $h > 30$ км. Крім того, під час викидів CO_2 , з фотолітичним утворенням CO із CO_2 , який також міститься у продуктах згоряння, у разі значних викидів NO_x може відбуватися ефективне збільшення озону в тропосфері і нижній стратосфері внаслідок такого каталітичного циклу:



Тут M — частка, яка бере участь у перерозподілі енергії під час зіткнення молекул.

Із наведених каталітичних циклів руйнування озону видно, що характер і зміна кількості O_2 під час запусків ракет істотно 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 переміщуються з навколишнім повітрям, руйнують наявний у ньому озон. Одночасно турбулентні вихори і вітри наносять із навколишнього повітря озон, який поступово заповнює утворену зону зі зниженим умістом O_3 . Сумісна дія на стратосферу дифузії і фотохімії — складний процес і може бути розрахований за допомогою складних математичних моделей.

У продуктах згоряння твердих ракетних палив, крім газоподібних компонентів, містяться аерозольні частинки Al_2O_3 і $AlCl_x$, вплив яких також треба враховувати під час розгляду поведінки озону в таких умовах.

Потенційним джерелом руйнівної дії на O_3 можуть бути дрібні частинки Al_2O_3 , вміст яких у викидах твердопаливних ракет досягає близько 30 % за масою. Ці частинки залишаються в атмосфері протягом декількох днів і завдяки своїй гідрофільності є центром конденсації пари води.

В одній з перших праць, присвячених цьому питанню, розглянуто вплив аерозольних частинок Al_2O_3 , які викидаються в нижню стратосферу, на зміну оптичній товщі сонячного випромінювання, дисоціюючого озону. Показано, що можливе зменшення O_3 в результаті зміни потоків сонячного випромінювання навіть за великого збурення оптичної товщі незначче як за абсолютними значеннями, так і порівняно з іншими джерелами його руйнування під час запусків ракет.

У працях [28; 29] виконано оцінювання аерозольного циклу руйнування озону під час запусків твердопаливних ракет. Швидкість гетерогенної реакції озону на поверхні частинок Al_2O_3 розраховувалась за відомою формулою:

$$d[O_3]/dt = -(8RT/\pi\mu)0,5\gamma S_0[O_3]/4,$$

де R — універсальна газова стала; T — температура; μ — молярна маса озону; γ — коефіцієнт прилипання, який визначає ймовірність розпаду молекули O_3 у разі зіткнення з поверхнею; S_0 — поверхня частинок в одиниці об'єму атмосфери.

Значні невизначеності пов'язані з величинами $\gamma_i S_0$. За даними лабораторних вимірювань розпаду O_2 на оксидах металів $\gamma = (2,3-8,8)10^{-5}$ в інтервалі $T = 295-209, 5$ К. У деяких оцінках [19] використано значення $\gamma = 5 \cdot 10^{-5}$ у розгляді локального ефекту і $\gamma = 10^{-5}$ — для регіонального і глобального ефектів.

Деякі літературні джерела [6] дають верхню оцінку $\gamma = 10^{-3}$. Складності виникають і під час визначення питомої поверхні аерозольних частинок S_0 , яку можна визначити через масу M частинок в одиниці об'єму:

$$S_0 = (3M/\rho)r^2/r^3 = (3M/\rho)/r,$$

тут r_2 і r_3 — відповідно середній квадратичний і середній кубічний радіуси; ρ — густина частинок.

У праці [19] у розрахунку S_0 припускалось, що частинки Al_2O_3 сферичні і їх радіус узято таким, що дорівнює 0,1 мкм для оцінювання локального ефекту, і 0,5 мкм — для оцінювання регіонального і глобального ефектів. У деяких працях взято радіус частинок $r = 0,46$ мкм, що відповідає результатам натурних вимірювань, згідно з якими $r_2 = 0,46$ мкм і $r_3 = 0,54$ мкм.

Відповідно до розрахунків, навіть із завищеним коефіцієнтом прилипання O_3 до аерозольних частинок, унесок цього механізму в загальне руйнування озону під час запусків ракет незначний.

У результаті гетерогенних реакцій, що перебігають на поверхні полярних стратосферних хмар або на сульфатних аерозольних частинках вулканічного походження, відбувається активація хлору (перехід з неактивної форми $ClONO_2$ в активну Cl_2 , яка за подальшого швидкого фотолізу дає атомарний Cl) і перерозподіл в сім'ї непарного азоту за рахунок перетворення активної форми NO_x (NO , NO_2 , NO_3 , N_2O_5) в неактивну HNO_3 , що підсилює хлорний цикл руйнування озону і значно знижує кількість озону в полярних ділянках («озонові дірки») і зменшує озон після вулканічних вивержень.

6.2. Вплив на озон факела ракетного двигуна і головної ударної хвилі

Під час польоту у стратосфері повітря у факелі РД і в головному стрибку ущільнення сильно розігрівається. Оскільки озон має невеликий потенціал дисоціації (близько 1), слід чекати помітного термічного руйнування O_3 . Крім того, у продуктах згоряння компонентів ракетного палива досить великі концентрації речовин, що впливають на озон.

Ракета летить із гіперзвуковою швидкістю, маючи дуже складні поля течії і структуру самої реактивної струмини. Коректне оцінювання 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 збуденій ділянці простору.

Знаходження загальної кількості O_3 , зруйнованого у факелі ракети і головній ударній хвилі, зводиться до оцінювання об'єму еліпсоїда, яким можна апроксимувати збудену ділянку навколо рухомої ракети. Знаючи об'єм еліпсоїда V і використовуючи типові розподіли концентрації озону з висотою в незбуденому середовищі, можна оцінити кількість зруйнованого озону.

Результати цього оцінювання на $h = 20\text{--}30$ км для двох типів двигунів РН «Протон» і «Спейс-Шаттл», отримані за припущення, що довжина траєкторії польоту ракети $L_T \approx 20$ км, наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Характеристики факела РН і кількість зруйнованого озону

Тип РН	h , км	Довжина факела, км	Діаметр «тунелю», см	V , м ³	$\Sigma[O_3]$, кг
419 «Протон»	20	19,46	18,35	$5,010^3$	1,95
	25	28,7	25,35	$1,46 \cdot 10^4$	
	30	41,46	31,68	$3,6 \cdot 10^4$	
«Спейс-Шаттл»	20	42,9	37,8	$4,86 \cdot 10^4$	9,51
	25	63,4	55,9	$1,57 \cdot 10^5$	
	30	91,8	81,0	$4,76 \cdot 10^5$	

Як свідчать дані табл. 6.1, найважливіший параметр — діаметр збуденої ділянки з майже повним руйнуванням O_3 («тунель») уздовж траєкторії польоту ракети. Його розміри змінюються від ~ 20 до ~ 80 м. Як видно з табл. 6.1, запуск системи «Спейс-Шаттл» призводить до значно більшого руйнування O_3 (приблизно в 10 разів). Однак загалом руйнування O_3 в головній ударній хвилі і факелі РД в обох РН можна вважати незначними, якщо враховувати, що у вертикальному стовпі атмосфери площею 1 км^2 у цьому діапазоні висот за тих же значень $[O_3](h)$ міститься близько $800 \text{ кг } O_3$.

Виконане оцінювання з урахуванням вказаних вище припущень слід вважати максимальним. З іншого боку, в умовах реального польоту РН розміри «тунелю» можуть бути дещо більшими. Головну роль тут відіграють надто високі концентрації компонентів продуктів згоряння, що руйнують озон.

6.3. Дія продуктів згоряння ракетних палив на стратосферний озон

Газоподібні продукти згоряння ракетних палив, які викидаються в атмосферу без ефективного переміщування у стратосфері, можуть залишатись у ній протягом тривалого часу і завдяки повітряним течіям впливати на озон у 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 перебігання 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 оцінювання локальної дії викидів окремих РН на стратосферний озон використовуються дифузійно-фотохімічні та «боксові» фотохімічні моделі 1.

У математичних моделях нульової розмірності, які часто називають «боксовими», ураховуються тільки фотохімічні процеси, а об'єм вважається повністю перемішаним і однорідним. Для дослідження поширення викиду продуктів згоряння ці моделі використовуються в ускладненому вигляді.

Для оцінювання локальних дій пусків ракет на озоносферу часто використовують одновимірні вісесиметричні моделі, осі яких збігаються з віссю струмини продуктів згоряння. Оскільки струмина продуктів згоряння — це 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 тривимірного. Під дією зносу продуктів згоряння вітром, невдовзі після пуску ракети, струмина продуктів згоряння і траєкторії ракети перестають збігатися.

Фотохімічні блоки моделі включають звичайні сім'ї 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 окиснення оксиду вуглецю, сімей інших малих газових складових, наприклад, бром, йод.

Для оцінювання локального впливу пусків РН на озон важливим є 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.

Для моделювання локального впливу продуктів згоряння на озон використовувались за різними джерелами незалежні від часу (постійні) значення $K_r = 2 \cdot 10^{10} \text{ см}^2/\text{с}$ або $K_r = 2,5 \cdot 10^9 \text{ см}^2/\text{с}$, близькі до глобальної турбулентної дифузії. Однак використання таких великих значень K_r призводить до дуже малого часу зменшення значення концентрації домішки вздовж осі циліндра ($\sim 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ у першому випадку і $\sim 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ — у другому), що суперечить візуальним та інструментальним спостереженням, які показують, що струмина продуктів згоряння твердopаливних ракет добре помітна протягом декількох хвилин. На основі статистичної теорії отримано для масштабу збурення близько 10 м значно менше значення $K_r = 7 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{с}$, яке збільшує реальний час існування струмини [1].

У ряді моделей використовується залежний від часу коефіцієнт дифузії, який є результатом сукупних спостережень і описується емпіричною формулою $K_r(t) = \beta t^\alpha$ з параметрами $\beta = 7,8887$, $\alpha = 1,62$ у працях [28–31], $\beta = 6,5$, $\alpha = 1,6$ – у праці [29].

Для ілюстрації локального впливу продуктів згоряння на озон на рис. 6.2 показано зміну в часі меж кругової зони з концентрацією O_3 менше за 90 % від фонового значення під час пусків ракети «Протон», розрахована для різних висот за однорівневою віссиметричною моделлю [6] 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 фонові (незбуреної) атмосфери.

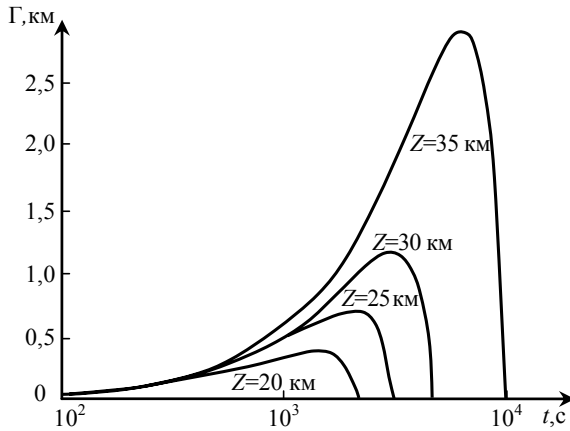


Рис. 6.2. Залежність від висоти та часу радіуса r зони з концентрацією озону меншою за 90 % від фонові для ракети «Протон» на різних висотах

Фотохімічне руйнування озону відбувається в порівняно вузькій кільцевій ділянці, у якій турбулентна дифузія перемішує продукти згоряння з навколишньою атмосферою, яка містить озон. Із часом швидкість руйнування O_3 внаслідок зниження концентрації озonoактивних компонентів зменшується. Одночасно завдяки збільшенню з часом коефіцієнта турбулентної дифузії розширюється зона, у якій руйнується озон. У підсумку це збільшує загальну кількість озону, який руйнується за одиницю часу.

Хоча основну роль у руйнуванні озону під час запусків рідинних РН відіграють оксиди азоту, однак руйнівний потенціал продуктів згоряння залежить від умісту в них сполук водню. Гідроксил OH і пергідроксил HO_2 , які утворюються внаслідок взаємодії великих кількостей атомного водню з навколишнім повітрям, взаємодіючи з оксидами азоту NO і NO_2 , перетворюють їх у резервуарні сполуки HNO_2 , HNO_3 і HO_2NO_2 , які не реагують з озоном, знижуючи цим самим швидкість його руйнування. Оскільки відносний вміст водневих сполук у продуктах згоряння ракети «Енергія» більший, ніж у «Протона», і вони переводять у неактивні форми більшу кількість оксидів азоту (22 % порівняно з 8 % для «Протона»), продукти згоряння РН «Протон» інтенсивніше руйнують озон.

Процеси переведення озonoактивних компонентів у резервуарні сполуки відбуваються і у продуктах згоряння ракети «Спейс

Шаттл». При цьому вони ускладнюються наявністю сполук хлору. Згідно з даними праці [6] у резервуарні сполуки перетворюються ~77 % оксидів азоту і ~99,5 % хлору, який міститься у продуктах згоряння, у тому числі ~99 % в HCl і 0,5 % в HOCl. Хоча у вигляді озonoактивних сполук хлору (Cl, ClO), за оцінками [6], міститься всього ~0,5 % хлору, проте завдяки його великій кількості у продуктах згоряння твердопаливних ракет саме він руйнує озон [88].

Виконуючи розрахунки зміни повного вмісту озону в стовпі атмосфери, необхідно враховувати відхилення траєкторії ракети від вертикалі, а також зміну швидкості вітрового зрушення зі зростанням висоти. У такому випадку зміна повного вмісту озону в стовпі під час запусків ракет набагато менша за зміни локальних концентрацій O₃. Згідно з оцінюванням, виконаним у праці [88], за швидкості вітрового зрушення близько 1 м/с на 1 км висоти максимальне зниження повного вмісту O₃ у стовпі атмосфери з основою 1,6×1,6 км не перевищує 6–7 % протягом 0,5–1 год після пуску ракети «Спейс Шаттл». Для реєстрації такого локального зменшення повного вмісту O₃ 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 перенесення повітряними потоками. Ракетний слід на стратосферних висотах приблизно через тиждень перетворюється у хмару розміром декілька сотень кілометрів, яка під дією зональних вітрів зміщується (залежно від сезону) в західному чи східному напрямку, несуттєво відхиляючись від початкової широти [79]. У періоди весняної і осінньої перебудов стратосферної циркуляції, коли вітер у стратосфері слабкий, хмара продуктів згоряння може залишатись майже нерухомою і відносно компактною, розширюючись лише за рахунок макротурбулентного перемішування.

Для розрахунку зміни концентрацій у хмарі продуктів згоряння можна використовувати одновимірну фотохімічну модель, яка має містити більшу кількість газових складових атмосфери, ніж для дослідження локальних ефектів, враховувати зміни температури стратосфери і тропосфери у зв'язку зі зміною їх складу під впливом

викидів ракет, а також вертикальне перемішування у хмарі [29].

Регіональна дія ракети «Спейс Шаттл», якщо не враховувати зрушення вітру залежно від висоти, зумовлює зниження загального вмісту озону у вертикальному стовпі діаметром 550 км через 24 дні у разі одиничного пуску близько 2 %, а під час пуску 12 ракет — близько 8 %.

Для оцінювання регіональної дії РН «Енергія» на озон у праці [29] взято завищені майже на порядок викиди NO, але навіть у разі таких великих викидів основного озоноруйнівного компонента максимальне зниження O₃ на $h = 24\text{--}30$ км через 24 дні після пуску ракети на широті 45 °N не перевищує близько 4 %, а зменшення загального вмісту у вертикальному стовпі діаметром 550 км становить близько 1,5 %. Одночасне утворення озону у тропосфері під час пусків «Енергії» дещо більше, ніж під час пусків «Спейс Шаттла»: збільшення O₃ може досягати близько 4,5 % у разі одиничного пуску і близько 11 % у разі пуску 12 ракет.

Утворення озону у тропосфері дещо компенсує збільшення УФ-радіації біля земної поверхні через зниження кількості стратосферного озону. Однак, ураховуючи шкідливі наслідки для природи і клімату Землі, збільшення концентрації тропосферного O₃, слід визнати фактор запусків ракет у цьому сенсі негативним.

6.3.3. Глобальна дія на озон продуктів згоряння ракетних палив

Продукти згоряння ракетних палив під дією вітру, зональної і меридіональної циркуляції, великомасштабних і мезомасштабних вихорів будуть поширюватись на всю атмосферу. Глобальний ефект дії пусків РН на озоновий шар можна досліджувати за допомогою двовимірних радіаційно-фотохімічних моделей, які враховують просторово-часову неоднорідність динамічних, фотохімічних і термічних процесів. При цьому зазвичай враховують зворотні радіаційні та інші позитивні і негативні зворотні зв'язки. Під час моделювання впливу регулярних пусків РН на атмосферний озон з огляду на незначний рівень їх впливу порівняно з іншими антропогенними факторами часто використовують спрощені моделі, нехтуючи тими чи іншими факторами.

Двовимірна радіаційно-фотохімічна модель атмосфери заснована на традиційній *K*-теорії турбулентного перемішування і турбу-

лентного теплообміну [1]. Просторово-часові зміни складу малих газових складових атмосфери описуються системою зонально усереднених рівнянь неперервності:

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + \frac{\partial \theta_{iz}}{\partial z} + \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial}{\partial e} (\cos \varphi \theta_{iy}) = P_i - L_i,$$

де y — горизонтальна координата (уздовж меридіана); ϑ — широта; P_i , L_i — відповідно фотохімічні джерела і стоки; θ_{iz} і θ_{iy} — відповідно вертикальна і горизонтальна складові потоку, які визначаються рівняннями:

$$\theta_{iz} = V_z n_i - N \left(K_{zz} \frac{\partial c_i}{\partial z} + K_{ze} \frac{\partial c_i}{\partial y} \right);$$

$$\theta_{iy} = V_y n_i - N \left(K_{yy} \frac{\partial c_i}{\partial y} + K_{zy} \frac{\partial c_i}{\partial z} \right),$$

де 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 i -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 так, що на полюсах потік домішки вважається нульовим, а на нижній і верхній межах подається або концентрація складової, або її потік.

Зміни газового складу атмосфери (наприклад, $[O_3]$, $[NO_2]$) можуть змінити оптичну товщу і потоки сонячної радіації, які, своєю чергою, змінюють швидкості реакцій фотодисоціації. Зі зміною концентрації O_3 і CO_2 відбувається зміна температури T атмосфери, яка впливає на швидкості реакцій і змінює динамічні характеристики атмосфери.

Із застосуванням двовимірної фотохімічної моделі з уведенням гетерогенних реакцій на стратосферному сульфатному аерозолі та на полярних стратосферних хмарах розглянуто глобальні ефекти дії на озон дев'яти пусків «Спейс Шаттла» і шість пусків ракети «Титан IV». Розрахункове збільшення Cl досягало близько 0,4 % від фону, що зумовило зменшення вмісту озону в середній і верхній

стратосферах на помірних і високих широтах Північної півкулі близько 0,14 %. Максимальне зменшення вмісту озону в стовпі близько 0,05 % досягається на північних широтах наприкінці зими і на початку весни. Таким чином, урахування гетерогенних процесів збільшує передбачуване зниження кількості озону в результаті запусків твердопаливних ракет приблизно у 2,5 разу.

Запаси хлору і викиди HCl (у перерахунку на хлор), розраховані для різних висотних шарів для щорічного пуску дев'яти ракет «Спейс Шаттл» і шести ракет «Титан IV» [1], наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

**Розподіл за висотами викидів (т/рік) HCl (у перерахунку на Cl)
запас хлору (т) у різних шарах атмосфери**

H, км	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–45	45–50	Усього
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

Ураховуючи, що озон під час пусків ракет із твердим паливом руйнується здебільшого за рахунок хлору, і використовуючи дані про утворені запаси хлору із продуктів згоряння ракетного палива в різних шарах атмосфери і розрахункові швидкості руйнування не-парного кисню у 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

**Частка озону, що міститься в п'ятикілометрових шарах,
ступінь зниження вмісту озону в кожному із шарів (O₃, %) і сумарне зменшення озону (%) у шарі 15–50 км**

H, км	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–45	45–50	Усього
Частка озону в шарі, %	0,286	0,388	0,18	0,043	0,009	0,0025	0,0011	0,9096
O 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. Максимальне руйнування озону також 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 більше впливають на озonosферу, 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 за сучасної їх інтенсивності надто малий.

6.3.4. «Тригерні» ефекти в озоновому шарі під час запусків ракет

Під час запусків ракет можливе виникнення «тригерних механізмів» перебігу процесів в озоновому шарі. У цьому випадку невелика за кількістю активна домішка або незначна енергетична дія може викликати ланцюгову реакцію з наслідком, який багатократно перевищує початкову дію. Одним зі шляхів здійснення «тригерного» ефекту може бути виникнення або різке збільшення потоку енергетичних частинок у результаті запуску ракет. Гальмівне рентгенівське випромінювання, яке виникає під час проходження високоенергетичних частинок в атмосфері і створює додаткову іонізацію на стратосферних рівнях, могло і через створення додаткової кількості оксиду азоту вплинути (через азотний каталітичний цикл) на концентрацію стратосферного озону. Можливий і такий механізм: збільшене гальмівне рентгенівське випромінювання у високоширотній стратосфері стимулює утворення крапель у перенасиченому водяною парою повітрі, зумовлюючи утворення стратосферних хмар, зниження температури і зменшення кількості озону.

Про можливість такого шляху здійснення «тригерного» ефекту свідчать експериментальні дані про стимульоване висипання високоенергійних частинок під час проведення різних типів активних експериментів, у тому числі у разі викидів різними способами металів (Ba, Cs, Li), імпульсної і неперервної інжекції плазми та електронів на середніх і високих широтах. Значні зміни характеристик високоенергійних електронів, що висипаються, спостерігались і при інжекції в іоносфері H_2O та CO_2 , які гасять плазму і наявні у великих кількостях у продуктах згоряння рідинних ракет. Нарешті,

у деяких випадках під час запусків ракет малого і середнього класів з полігону Плесецьк спостерігались ефекти в іоносфері, викликані стимульованими локальними висипаннями електронів.

6.4. Оцінювання впливу ракетно-космічної техніки на загальне руйнування озону

Дотепер внесок РКТ у руйнування озоносфери оцінювався тільки теоретично без проведення будь-яких цільових вимірювань із космосу або з поверхні Землі.

Теоретичне оцінювання кількості O_3 , що руйнується під час запусків ракет, потребує розгляду складного процесу взаємодії продуктів згоряння ракетного палива з компонентами атмосфери, під час якого одночасно відбуваються 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» спричиняють лише локальну і порівняно короткочасну дію на стратосферний озон, по-друге, навіть за підвищеної інтенсивності пусків (щомісячні пуски протягом чотирьох років) глобальне зниження загального вмісту озону мале.

Згідно з оцінками у праці [24] за передбачуваної на початку 1970-х років інтенсивності запусків ракет «Спейс Шаттл» (60 пусків щорічно) вміст озону в діапазоні висот 15–50 км може знизитись на $\sim 0,56\%$, а в разі щорічних дев'яти пусків ракет «Спейс Шаттл» і шести пусків ракет «Титан IV» (запусків 1980-х років), зменшення кількості O_3 у тому ж діапазоні висот не перевищує близько $0,1\%$. Це суперечить результатам, опублікованим у працях [34; 35], згідно з якими частка РКТ у руйнуванні озонового шару від загальної антропогенної дії на атмосферу (з урахуванням зниження виробництва фреонів згідно з Монреальським протоколом) складе до 2005 р. не менше ніж 10% . Ця оцінка видається дуже завищеною, з огляду на співвідношення викидів ракетних палив (передусім продуктів згоряння озonoактивних компонентів) з урахуванням інтенсивності запусків різних ракет з їх природними джерелами та іншими антропогенними джерелами забруднення НПС.

Дані про внесок різних циклів руйнування озону в природних умовах та під час запусків ракет, які свідчать, що найбільше впливають на озон хлорні компоненти і менше — оксиди азоту та водневі компоненти, наявні у продуктах згоряння ракетних палив, наведено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Внесок різних каталітичних циклів у руйнування озону

Компонент	Внесок у процес руйнування, %		
	Усі джерела		Ракетні двигуни
	Уся стратосфера	25–30 км	
Оксиди азоту	32	70	0,00005
Кисень	23	10	0
Водень/гідроксил	26	10	0,0012
Хлор	19	10	0,032
Усього	100	100	0,034

У природних умовах основними джерелами хлору на стратосферних висотах є:

1) фотодисоціація хлористого метилу (CH_3Cl), що утворюється у процесі розкладу чи згоряння біологічних продуктів, переважно морського походження;

2) фотохімічне руйнування хлорфторвуглеводнів (ХФВ) (фреонів, хладонів);

3) викиди вулканів.

Щорічні викиди в стратосферу озоноруйнівних компонентів як природними, так і антропогенними джерелами наведено в табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Щорічні викиди (кілотонни) у стратосферу озоноруйнівних компонентів

Джерело	Cl	H_2O	H_2	NO_x
Промисловість	300	–	–	–
Вулкани	100–1000	–	–	–
Природний фон	75	1500	340	280
Ракетна техніка: дев'ять «Спейс Шаттлів» і шість «Титанів»	0,79	3,25	0,2	0,016

Стійкі ХФВ, що надходять в атмосферу біля поверхні Землі, під дією турбулентного перемішування і впорядкованих вертикальних потоків майже без руйнування переносяться в стратосферу, де

починається їх фотоліз з утворенням активного хлору, який бере участь у процесах руйнування озону. Деяка частина Cl перетворюється в HCl і видаляється із стратосфери.

Уміст фреонів в атмосфері збільшується: у 1970-ті роки збільшення викидів становило ~10 % за рік, у 1980-ті — 5 % за рік. Відповідно до Монреальської конвенції, яка набрала чинності з 1989 р., передбачалось до середини 1990-х років заморозити споживання фреонів з високим озоноруйнівним потенціалом на рівні 1986 р., а до 1999 р. знизити їх виробництво наполовину. Виходячи з цього, можна прогнозувати, що в найближчі десятиліття не станеться істотного збільшення вмісту в атмосфері фреонів з високим озоноруйнівним потенціалом (здебільшого це фреони з великим періодом «життя» ~ 100 років — ХФВ-11, ХФВ-12, ХФВ-113, ХФВ-114, CCl₄). Разом з тим галогеновугле-водні з низьким озоноруйнівним потенціалом, що мають періоди «життя» близько 1–30 років (ХФВ-22, ХФВ-123, CH₃Cl₃), будуть вироблятися і викидатися із дедалі більше зростаючими кількостями. Оскільки ці гази створюють парниковий ефект, їх вплив на озон схожий на вплив CO₂, якщо навіть не враховувати безпосереднього внеску 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 становить (0,4–11) Мт. Приблизно 10 % цих газів виділяється під час виверження вибухового типу, викиди яких досягають стратосфери. Це джерело хлору може досягати 3 Мт для сильних вивержень. Так, під час виверження Агунс у березні 1963 р. у стратосферу потрапило близько 1,2 Мт HCl [5]. Зіставлення із цими джерелами викидів твердопаливних ракет показує, що від запуску ракети «Титан IV» на висоті 15–60 км викидається 46 т сполук, які містять хлор, і на 30–40 % більшу кількість від запуску «Спейс Шаттла», причому близько 63 % з них викидається у тропосферу, звідки випадає у вигляді кислотного дощу, не впливаючи на озон. Решта HCl досягає до стратосфери, де діє активний хлор, що руйнує озон. За даними праці [1], твердопаливні двигуни дев'яти «Спейс Шаттлів» і шести «Титанів IV» за рік викидають у стратосферу ($h > 15$ км) близько 0,79 кілотонн Cl_x, що становить 0,25 % від існуючого стратосферного джерела хлору, і дія їх на стан озонового шару в глобальному масштабі не перевищує 0,1 % за природних коливань

повного вмісту озону в межах $\pm 20\text{--}25\%$. За оцінками у праці [46], щоб підвищити вміст Cl у стратосфері на 1% , необхідно щорічно здійснювати 54 запуски «Спейс Шаттла» і 36 запусків «Титана IV». Навіть, якби до 2000 р. удалося б 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.

На озоновий шар відчутно впливає такий компонент продуктів згоряння твердих і рідких ракетних палив, як оксиди азоту NO_x . У природних умовах основним джерелом NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) є окиснення збуреними атомами O у стратосфері, а також у середній і верхній тропосфері. Інтенсивність його викиду в Північній півкулі — $100\text{--}300$ кг за рік [1]. За деякими прогнозами підвищення інтенсивності викиду N_2O в атмосферу складе в період 1985–2015 рр. $\sim 0,2\text{--}0,25\%$ за рік. Наземні й антропогенні джерела NO_x мають значно більшу інтенсивність — $10\text{--}20$ Мт за рік; з них 10 Мт виробляє біосфера суші з максимумом у середніх і субтропічних широтах; близько $2\text{--}4$ Мт 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 тропосферах.

Інтенсивним антропогенним джерелом оксидів азоту у стратосфері є викиди NO_x із реактивних двигунів літаків. Уміст NO_x у вихлопних газах реактивних двигунів (див. розд. 1) визначається через емісійний індекс EI ($\text{гNO}_2/\text{кг}$ палива). У двигунах найбільш поширених дозвукових літаків «Боїнг-707», «Боїнг-727», «DC-8», «DC-9» у крейсерському режимі утворюється близько гNO_2 на 1 кг витраченого палива, у двигунах літаків «Боїнг-747», «DC-10», «А-300», «Локхід-1011» ~ 16 г $\text{NO}_2/\text{кг}$ 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 20 км будуть спалювати близько 77 Мт палива і викидати $1,8$ Мт NO_2 за рік. Це може зумовити, як показали розрахунки на простій одновимірній моделі, середньорічне глобальне зменшення концентрації O_3 на 3% на висоті 20 км до 23% на висоті 30 км зі зменшенням загального вмісту озону на 13% і майже до 50% -го можливого зниження [O_3] у «коридорі» польотів.

Розрахунки на двовимірних радіаційно-фотохімічних моделях для середньорічних стаціонарних режимів дії постійних за часом

викидів NO_x і H_2O на різних висотах у різних широтах і для різних концентрацій непарного хлору у стратосфері показали, що за одного і того самого викиду NO_x в основному «коридорі» польотів у середніх широтах Північної півкулі польоти на рівні близько 20 км знижують загальний вміст озону на порядок більше, ніж на висотах польоту $h = 15\text{--}16$ км (табл. 6.6).

Максимальне його зменшення як глобальне, так і в Північній півкулі (10 і 16 %) спричиняють польоти на $h = 28\text{--}30$ км між шарами максимуму густини O_3 (20–26 км) і максимуму його відношення суміші (30–36 км). У всіх варіантах у табл. 6.6 наведено однакову кількість спалюваного палива 77 Мт/рік; сумарний викид NO у стратосферу для $\text{EI} = 15$ г/кг ($2,4 \cdot 10^{34}$ молекул/рік) відповідає оцінюваній інтенсивності природних джерел оксидів азоту в усій стратосфері (світове споживання в 1987 р. становило 153 Мт, у 1988 р. — 150 Мт).

Таблиця 6.6

Оцінювання передбачуваного зменшення загального вмісту озону для викидів оксиду азоту в різних шарах стратосфери, розраховані на двовимірній радіаційно-фотохімічній моделі

Індекс емісії, г/кг	Викид, 10^{33} молекул за рік	Шар викиду, км	Зменшення загального вмісту озону, %		
			глобальне	у Північній півкулі	у Південній півкулі
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			

На підставі сучасних даних у праці [1] робиться висновок, що за очікуваного у XXI ст. зростання вмісту Cl_y у стратосфері, навіть в умовах виконання обмежень викиди ХФВ у 1990-х роках і припинення їх викидів у 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 у разі підвищеного вмісту Cl_y . Слід зазначити, що завдяки дії Монреальської конвенції максимальний вміст Cl_y у тропосфері спостерігався в 1994 р., а надалі він знизився як у тропосфері, так і зі запізненням приблизно на рік у стратосфері в 1,23 разу до 2015 р. і \sim в 1,85 разу до 2050 р. У цьому випадку зростає роль впливів надзвукових літаків. Вони можуть стати основним каналом антропогенної дії на озоносферу, тим більше, що авіаінженери вважають малоімовірним досягнення індексу емісії 5 г/кг палива на початку XXI ст. Крім того, зі зменшенням викиду NO_x зростає роль викидів SO_2 (ЕІ \sim 1,1 г/кг палива), які зумовлюють збільшення вмісту сульфатного аерозолі і зменшення вмісту озону.

У цілому, виконане у праці [87] оцінювання свідчить на користь надто великого впливу авіації на стратосферний озон. За цими оцінками близько 50 % загального вмісту NO_x у верхній тропосфері і нижній стратосфері середніх широт Північної півкулі є результатом викидів реактивних двигунів літаків. Якщо зіставити ці дані з наведеними в табл. 6.5 щорічними викидами NO_x у стратосферу від природних джерел і в результаті запусків твердопаливних ракет, то, очевидно, що внесок РКТ у руйнування озону за рахунок викидів цього озonoактивного компонента незначний. Джерелом руйнування озону є також аерозольні частинки Al_2O_3 і H_2O . Під час запуску «Титана IV» на висоті 15–60 км викидається близько 68 т Al_2O_3 , а під час запуску «Спейс Шаттла» — близько 110 т.

Як показує порівняння цих даних із вмістом аерозолів у фонових умовах з викидами від виверження вулканів і під час польотів надзвукових літаків, щоб забезпечити концентрацію аерозольних частинок із загальною площею поверхні такою самою, як і у фонових умовах, необхідно здійснити близько 10 000 запусків «Спейс Шаттла».

Як показують розрахунки для іншого антропогенного джерела — надзвукових літаків, якщо значна частка викидів SO_2 з авіадвигунів

буде перетворюватись у сірчану кислоту, то в разі передбачуваного використання надзвукових літаків (500 літаків щорічно спалюють 59 Мт палива, викидаючи близько 12 кт сірки за рік) можливе збільшення загальної площі поверхні сульфатного аерозолю в стратосфері приблизно вдвічі і збільшення руйнування озону за низьких індексів емісії NO_x (табл. 6.7).

Таблиця 6.7

**Зміна (%) середньорічного вмісту озону в стовпі на 47 °N
та зміна площі поверхні аерозолів у нижній стратосфері**

Емісія SO_2	Зміна площі поверхні аерозолів, %	Індекс емісії NO_x	
		EI = 15	EI = 5
$\text{Cl}_v = 3 \cdot 10^{-9}$			
0	0	-0,21	-0,11
100 % газу	35	-0,34	-0,47
10 % частинок	50	-0,47	-0,75
100 % частинок	130	-0,76	-1,33
$\text{Cl}_v = 2 \cdot 10^{-9}$			
0	0	-0,71	-0,28
100 % газу	35	-0,70	-0,52
10 % частинок	50	-0,75	-0,69
100 % частинок	130	-0,80	-1,02

Результати розрахунків зміни загальної поверхні аерозолів у 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 у вихлопній струміні досягає 100 %, то за всіх інших однакових умов можливе зменшення загального вмісту O_3 на 1,0–1,33 %. Таке саме зменшення озону може спостерігатись у результаті збільшення інтенсивності запусків ракет у 30 разів порівняно з уже існуючою.

Наведені вище дані не дають підстав для висновку про будь-який істотний внесок РКТ у руйнування озонового шару Землі в глобальних масштабах. Однак, якщо виникне необхідність збільшити кількість запусків РН для масштабних досліджень космосу або для його індустріалізації (наприклад, для створення космічних електростанцій), потрібно організувати постійний моніторинг із

метою контролю НПС і недопущення виникнення дій РКТ, які перевищують допустимі рівні. Для зниження впливу РКТ на озonosферу пропонуються такі заходи:

1) зменшення кількості пусків ракет за рахунок більш широкого використання групового виведення декількох КА однією 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) розроблення методик і проведення міжнародної паспортизації засобів виведення, у тому числі за кількістю знищеного озону.

■ Розділ 7

ВПЛИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА НАВКОЛОЗЕМНИЙ ПРОСТІР _____

7.1. Вплив двигунних установок ракет-носіїв і розгінних блоків

До можливих екологічних ефектів дії ДУ РН і РБ на навколоземний космічний простір відносять генерацію та модуляцію енергійних частинок, що потрапляють в атмосферу. Натепер отримані лише непрямі експериментальні обґрунтування можливості існування подібних ефектів, які можуть спостерігатися тальки за певних геліогеофізичних умов. Крім того, інтенсивність і можливість існування цих ефектів можуть залежати від характеру розльоту газу продуктів згоряння ДУ РН або РБ.

Зауважимо, що характеристики розлітання газу продуктів згоряння ДУ РН і РБ помітно відрізняються.

Так, для активного відрізка РН типу «Союз», що запускається, наприклад, з космодрому Плесецьк, з інтервалом 120–170 км перетинаються ракетою за 80 с із середньою швидкістю $W \approx 3$ км/с. Цьому інтервалу відповідає відстань $L = 240$ км уздовж траєкторії, а сумарна маса M газу продуктів згоряння становить 25–30 т. Початкова швидкість газу $V_0 \approx 3$ км/с. Близькість значень W і V_0 дозволяє вважати, що на будь-якій фіксованій висоті виділеної ділянки траєкторії розлітання газової хмари продуктів згоряння має циліндричну геометрію, тобто відбувається у площині, ортогональній до траєкторії РН. Залежність радіуса R і швидкості V від часу t фронту хмари на висоті h у цій площині визначається за формулами:

$$R = R_m[1 - \exp(-t/T)], \quad V = V_0 \exp(-t/T); \quad (7.1)$$

$$R_m = M/(L\rho_0), \quad T = R_m/V_0, \quad (7.2)$$

де ρ_0 — густина фонові термосфери на висоті h ; t — час перетинання ракетою завширшки h , тобто час початку розлітання газу продуктів згоряння на цій висоті.

Усередині хмари швидкість частинок газу $V(r)$ лінійно збільшується з відстанню r від центра хмари, а густина газу $\rho(r)$ однорідна:

$$V(r) = (r/R)V, \text{ якщо } r \leq R; V(r) = 0, \text{ якщо } r > R; \quad (7.3)$$

$$\rho(r) = \rho_0 [1 + R_{m2}/(\pi R_2)], \text{ якщо } r \leq R; \rho(r) = \rho_0, \text{ якщо } r > R, \quad (7.4)$$

де R і V визначають співвідношенням (7.1).

Із виразу (7.1) видно, що час $t \ll T$ відповідає стадії розлітання газу, коли $R = V_0 t$ і $V = V_0$. У подальшому відбувається гальмування газової хмари через витрати енергії на рух захопленої атмосферної речовини і здійснення роботи на подолання зовнішнього тиску. Якщо $t = R$, то $R \approx 0,6R_m$, $V \approx 0,4V_0$ і всередині хмари $\rho(r) \approx 1,8\rho_0$. Інтервал часу T відповідає стадії, коли потік газу продуктів згоряння є високошвидкісним. Якщо $t > T$, швидкість розлітання хмари різко падає через незначну різницю між густиною хмари і фонові атмосфери, і настає повільна дифузійна стадія розлітання хмари. Вирази (7.1)–(7.4) свідчать про те, що величини ρ_0 , R_m повністю визначають динаміку розлітання вихлопного струменя РН на розглядуваному проміжку часу. Значення цих величин для типових умов ($M = 26$ т і $L = 240$ км) наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Густина фонові атмосфери ρ_0 і характеристики газової хмари продуктів ДУ РН на різних висотах h інжекції вихлопного газу

h , км	110	130	150	170	190
ρ_0 , кг/м	$6,8 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$7,3 \cdot 10^{-10}$	$3,6 \cdot 10^{-10}$
R_m	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. 7.1 видно, що R_m , T і t збільшуються зі зростанням h через зниження разом з висотою густини фонові атмосфери ρ_0 .

Для типових умов роботи ДУ РБ, наприклад, апарат типу «11С 824Ф» виводиться на витягнуту еліптичну орбіту в результаті двох включень в інтервалі висот 150–350 км: перше включення протягом 80 с відбувається на висоті 152–155 км, витрачається 1,92 т палива, швидкість руху РБ уздовж траєкторії W змінюється від 7,2 до 7,5 км/с.

Швидкість струменя газу продуктів згоряння на зрізі сопла $V_0 = 3,1$ км/с. Оскільки $W > V_0$, то за зрізом сопла ДУ, що працює, буде розташована обмежена зона високошвидкісного потоку газу продуктів згоряння, у якій середнє значення густини газу $\rho \approx 2\rho_0$.

Об'єм високошвидкісного потоку газу ДУ РБ обмежений конусом із вершиною на зрізі сопла і основою у вигляді кола з радіусом R на відстані L від вершини:

$$R = V_0 \tau L = U_z U = W - V_0; \quad (7.5)$$

$$\tau^2 = 3(dm/dt) / \left\{ 2\pi\rho_0 U^3 \left[1 + V_0 / (U^2)^{1/2} - 1 \right] \right\}, \quad (7.6)$$

де dm/dt — витрата палива за одиницю часу.

За межами цього об'єму розлітання вихлопного газу близьке до дифузійного. Інтервал часу Δt , за який зона (ділянка) високошвидкісного потоку газу продуктів згоряння перетинає фіксовану точку на заданій висоті h уздовж траєкторії РБ, за даними виразу (7.5) визначають співвідношенням

$$\Delta t = L/w = U\tau/w. \quad (7.7)$$

На цій висоті у площині, перпендикулярній траєкторії РБ, зміни характеристик високошвидкісного потоку газу (густини, швидкості радіального розлітання і розміру хмари) багато в чому подібні до наведених вище для РН: спершу фіксується щільна хмара невеликого розміру (вершина конуса), яка радіально розширюється із часом (інші ділянки конуса аж до основи). Із виразів (7.5)–(7.7) випливає, 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. 7.2.

Таблиця 7.2

**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 , 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

Із табл.7.1 і 7.2 видно, що на висоті приблизно 150 км, коли потік газу продуктів згоряння є високошвидкісним, інтервал часу 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 відмінність у значеннях відносної швидкості і є головною причиною різниці в значеннях Δt для РН і РБ.

Переведення РБ з витягнутої еліптичної орбіти на геостаціонарну орбіту (ГСО), тобто колову орбіту радіусом $R_0 = 6,62R_E$ з орбітальним періодом 24 год і швидкістю руху уздовж орбіти $W_0 = 3,072$ км/с, здійснюється увімкненням ДУ РБ на висотах приблизно $6,6 R_E$ від центра Землі, де R_E — радіус Землі. Це переведення на ГСО відбувається за 12 год 30 хв, протягом яких в атмосферу викидається $1,2 \cdot 10^{29}$ молекулярних частинок із середньою масою 22,8 а.о.м., і швидкість РБ змінюється від 1,6 до 3,072 км/с. Фонова нейтральна атмосфера в зоні ГСО майже беззіткнувальна, складається переважно з атомів водню, концентрація яких близько 50 см^{-3} . Характерний час між зіткненнями становить приблизно 50 діб. Тому на ділянці роботи ДУ в зоні ГСО передусім відбуватиметься розлітання газу продуктів згоряння. Коли ж розмір газової хмари перевищить довжину вільного пробігу атомів у фоновій атмосфері, частинки газу продуктів згоряння почнуть рухатись у порожнечу за балістичними траєкторіями. При цьому значна кількість частинок буде рухатись уздовж еліптичних траєкторій, не досягаючи екзобазис, тобто вони будуть повертатись у зону ГСО, формуючи в ній газову хмару підвищеної концентрації. У процесі таких рухів газ дисоціює під дією сонячного випромінювання, що призводить, зокрема, до утворення з молекул H_2 і H_2O атомів H . Тому через певний проміжок часу газ продуктів згоряння складатиметься переважно з атомів водню. Якщо для оцінювання виділити об'єм у вигляді тора радіусом $R_0 = 6,62R_E$ з поперечним перерізом у вигляді кола діаметром 500 км, то у цьому об'ємі середнє значення концентрації атомів водню, утворених із газу продуктів згоряння, буде близьким до фонового, тобто сумарна концентрація цих атомів приблизно вдвічі перевищуватиме фонове значення. Час існування хмари підвищеної концентрації атомів водню становить близько 2–3 діб. Зауважимо, що це оцінювання приблизне і показує лише практичну можливість підтримання середнього підвищеного рівня концентрації атомів водню в ділянці 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. У результаті виникають електричне поле та струми Хола, які ортогональні гео-

магнітному полю. Ці струми мають замикатись поздовжніми струмами, які у цьому разі забезпечуються магнітогідродинамічною хвилею. Тому в ділянці взаємодії оточуючої іоносферної плазми з високошвидкісним потоком газу продуктів згоряння мимовільно виникають електричні струми та магнітогідродинамічні хвилі [10].

Наслідком взаємодії магнітогідродинамічної хвилі, що генерується газом продуктів згоряння ДУ РН або РБ, з навколишнім середовищем може бути стимульоване потрапляння електронів з енергіями 1–3 кеВ в іоносферу, модуляція потрапляння електронів з енергіями близько 40–50 кеВ. За певних геліофізичних умов глибина такої модуляції для МГД-хвилі, що генерується продуктами згоряння ДУ РН, може сягати 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 зоні ГСО може привести до зменшення часу життя протонів з енергіями порядку 100 кеВ у екваторіальній площині магнітосфери.

Концентрація теплових іонів тут низька, тому основним джерелом втраг високоенергетичних протонів є резонансне перезарядження протонів з атомами водню. Характерний час перезарядження швидко збільшується зі зростанням енергії протонів. Поява поясу атомів Н на ГСО у результаті роботи ДУ РБ приводить до зростання швидкості втраг високоенергетичних протонів (приблизно вдвічі порівняно зі швидкістю втраг для протонів з енергіями приблизно 50 кеВ).

7.2. Вплив плазмових двигунних установок космічних апаратів

Плазмові ДУ КА зазвичай використовують для орієнтації, стабілізації і корекції орбіти цих апаратів (див. розд. 2).

У результаті роботи плазмових ДУ в навколоземному космічному просторі (НКП) утворюється плазмова хмара з такими початковими характеристиками, за яких швидкість витікання плазми на зрізі сопла майже не відрізняється від швидкості руху КА: поперечний розмір — приблизно 3 м, поздовжній розмір визначається часом роботи плазмової ДУ, ефективна маса іонів $m(X^+) \sim 120$ а. о. м., концентрація іонів $N(X^+) \approx 10^5 \text{ см}^{-3}$ і дорівнює концентрації електронів хмари, температура іонів $T(X^+) \approx 1500 \text{ К}$,

температура електронів $T_e = 10^4$ К. Тут ураховано, що іонами плазмової хмари є іони ксенону, аргону або пари ртуті, середня маса яких становить приблизно 120 а.о.м.

Аналіз показує, що найістотніші зміни характеристик НКП, пов'язані з цією плазмовою хмарою, можуть відбуватись у ділянці, де фонові концентрації електронів набагато менша від концентрації електронів хмари і, крім того, існує фоновий поздовжній струм I уздовж геомагнітного поля з іоносфери вгору до магнітосфери. Такі умови характерні для висоти $h = 3000\text{--}5000$ км опівночі; фонові концентрації електронів майже збігається з концентрацією теплових протонів, середнє значення яких $N(H^+) = 50 \text{ см}^{-3}$, $T_e \approx T(H^+) \approx 3000$ К, $I \approx 0,5$ А/км². Значення концентрації іонів N , іонно-звукової швидкості $V_s = [k(T_i + T_e)/m_i]$, теплової швидкості іонів $V = kT_i/m_i$, гірочастоти іонів $f = \omega/2\pi$, де $\omega = eB_0/m_i$ (B_0 — модуль геомагнітного поля), гірорадіуса іонів $r = V/\omega$ для фонові плазми ($i = H^+$) і для початкових характеристик плазмової хмари ($i = X^+$) у розглядуваній ділянці НКП наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Характеристики фонові плазми ($i = H^+$) і плазмові хмари одразу після інжекції цієї хмари плазмовою ДУ ($i = X^+$) на висоті приблизно 3200 км поза плазмосферу

i	$N, \text{см}^{-3}$	$V_s, \text{км/с}$	$V, \text{км/с}$	$f, \text{Гц}$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$r, \text{м}$
H^+	50	7	5	240	1500	3
X^+	10^5	0,8	0,3	2	12,5	26

Із часом відбувається розлітання плазмові хмари вздовж і поперек геомагнітного поля.

Розлітання плазмові хмари поперек геомагнітного поля буде відбуватись доти, доки радіус плазмові хмари за порядком значення не стане найближчим до гірорадіуса іонів. Час цього процесу, який відлічується від початку часу інжекції плазми плазмовою ДУ на певну фіксовану висоту, $t_1 \sim 1/\omega(X^+) \sim 0,1$ с. Концентрація іонів хмари до цього часу $N(X^+)$ становить близько 1000 см^{-3} .

За наявності поздовжнього струму I , спрямованого з іоносфери в магнітосферу, можливе дальше зменшення концентрації фонові плазми в цій ділянці: початкове зменшення N_e приводить до появи

слабкого поздовжнього поля, яке пришвидшує електрони вниз, а іони вгору, що еквівалентно істотнішому зменшенню N_e , яке, своєю чергою, приводить до підсилення поздовжнього поля і ще більш значного зменшення N_e аж до розвитку того чи іншого типу плазмової нестійкості. Поздовжній струм $I \approx eN_eV_e$ постійний для часу, що розглядається, оскільки генератором цього струму є магнітосфера. Тому тривале зменшення N_e призведе до зростання дрейфової швидкості електронів V_e , і ця швидкість може перевищити порогове значення для розвитку, зокрема, електростатичної іонно-циклотронної (ЕЦ) нестійкості. Зростання амплітуди ЕЦ-хвиль може призвести до ЕЦ-турбулентності. Ділянка, охоплена ЕЦ-турбулентністю, є турбулентним шаром, у якому значно збільшене поздовжнє електричне поле. Фонові надтеплові електрони, потрапляючи в цей шар, будуть пришвидшуватись униз в іоносферу і тим самим набувати додаткової енергії ~ 1 кеВ. Різке збільшення потоку електронів, що потрапляють в атмосферу, є джерелом магніто-гідродинамічної хвилі, яка, поширюючись уздовж геомагнітного поля, може досягти зони, де можливе утворення турбулентного шару через перевищення порогового значення дрейфової швидкості електронів, пов'язаної з поздовжнім струмом цієї хвилі. У результаті може виникнути саморегульований режим пульсуючого висипання електронів з енергіями, що становлять приблизно 1 кеВ.

7.3. Вплив ядерних енергетичних установок на навколоземний космічний простір

Оцінюючи вплив ядерної енергетичної установки (ЯЕУ) на НКП, варто насамперед мати на увазі установки з ядерним реактором (ЯР), оскільки в радіоізотопному генераторі (РІГ) усе випромінювання майже не виходить за межі зовнішньої оболонки.

Функціонування ЯР у НЗП можна розділити на дві 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 високоорбітальних КА з ЯР).

У штатному режимі працюючий ЯР — джерело гамма-, нейтронного випромінювань та електронів (табл. 7.4), здатних впливати на радіаційну обстановку в НЗП, істотно змінити природний радіаційний фон.

Таблиця 7.4

Густина потоків складових природної радіаційної обстановки в НКП

Висота орбіти, км	Густина потоків частинок/(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
3000–10 000	0,06–0,2	0,03–0,3	10 ³ –10 ⁷
10 000–20 000	0,04–0,12	0,02–0,2	10 ³ –10 ⁶
20 000–30 000	0,02–0,05	0,01–0,05	10 ³ –10 ⁶
30 000–40 000	0,01–0,1	0,01–0,1	10 ² –10 ⁵

Густина потоків змінюється залежно 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./(см²·с), у середніх і високих широтах — 0,17–1,2 нейтр./(см²·с). Середнє значення інтегральної густини потоку гамма-квантів на екваторі становить близько 0,02–0,2 квант./(см²·с), у середніх і високих широтах — 0,2–0,6 квант./(см²·с). Основним джерелом електронів у НКП є радіаційний пояс Землі — зона захоплення геомагнітним полем заряджених частинок (протонів та електронів). Пояс поширюється від кількох сотень до кількох десятків тисяч кілометрів від поверхні Землі. Максимальні значення густини потоків електронів знаходяться на висоті приблизно 3000 км — 10⁷ ел./(см²·с) і близько 22 000 км — 10⁶–10⁷ ел./(см²·с).

У працюючого ЯР його активна зона є джерелом нейтронів і гамма-випромінювання, які потрапляють у навколишнє середовище. Інші види випромінювань, які утворюються в активній зоні,

за її межі не потрапляють, повністю поглинаючись конструкційними матеріалами.

Як нейтрони, так і гамма-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, що супроводжують процес ділення, та випромінювання короткоживучих продуктів ділення, більшість яких випускається в перші кілька секунд після ділення.

Кількість нейтронів і гамма-квантів, які утворюються в активній зоні, залежать від теплової потужності ЯР. Для одиничної теплової потужності 1 кВт кількість ділень становить $3,1 \cdot 10^{13}$ діл./с, для потужності P_T воно пропорційно зростає: $3,1 \cdot 10^{13} P_T$.

Середня кількість миттєвих нейтронів при діленні U^{235} становить 2,5 нейтр./діл, отже, в активній зоні при тепловій потужності P_T (кВт) утворюється в середньому $7,7 \cdot 10^{13} P_T$ нейтронів за секунду. Частина цих нейтронів бере участь у розвитку ланцюгової реакції ділення, а частина — виходить за межі активної зони (витікання 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 близько 10,3 гамма-квантів різної енергії. Якщо знехтувати низькоенергетичною ділянкою спектра ($E_\gamma \leq 0,5$ MeV), випромінювання якого майже повністю поглинається в активній зоні, то сумарний вихід гамма-квантів буде становити $3,1 \cdot 10^{13} P_T$, гамма-квантів/с, або сумарна енергія — приблизно $37,2 \cdot 10^{13} P_T$, MeV/с.

Вихід гамма-нейтронного випромінювання за межі активної зони, крім теплової потужності ЯР, залежить також від її конструктивних особливостей. Для виконання розрахунків активну зону циліндричної форми перетворюють в еквівалентний циліндричний випромінювач з радіусом $R_e = 0,572(H_{a.z} D_{a.z}^2)$, де $H_{a.z}$, $D_{a.z}$ — висота і діаметр активної зони відповідно. Це дозволяє визначити густину потоку випромінювання на її поверхні. Просторовий розподіл поля випромінювання за межами активної зони розраховують від точкового ізотропічного джерела з виходом нейтронів і квантів, який дорівнює густині потоків на її поверхні.

Залежно від потужності ЯР і його типу (тепловий, швидкий) густина потоку нейтронів на поверхні активної зони може складати 10^{12} – 10^{14} нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, а для гамма-квантів — 10^{12} – 10^{15} кв./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Так, для ЯР типу «Топаз» густина потоку нейтронів — близько 10^{12} нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, гамма-квантів — 10^{13} кв./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Густина потоків випромінювань, які утворюються в НЗП працюючими ЯР залежно від їх потужності, наведені в табл. 7.5.

Таблиця 7.5

Густина потоків гамма-нейтронного випромінювання залежно від відстані до працюючого ЯР і його потужності

R , км	1	10	100	200	500	1000
λ , кв./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$	$\sim 10^5$	$\sim 10^3$	~ 10	2,5	0,4	0,1
1000 кВт	$5,5 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^5$	55	14	2,2	0,55
$N_{\text{нейтр.}}$ / $(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, 180 кВт	~ 34	$\sim 0,34$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-6}$
1000 кВт	~ 190	~ 2	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$

Як свідчать дані табл. 7.5, працюючий ЯР може істотно змінити природний фоновий стан щодо нейтронів та гамма-квантів у локальній ділянці НКП. Що сильніший цей вплив, то більша висота орбіти. На низьких орбітах ($H = 200$ – 300 км) ЯР створює густину потоку гамма-квантів, порівняну з фоном у верхній півсфері до висот 700 – 1000 км на низьких широтах і на відстанях до $R = 500$ км у високих широтах ($H = 700$ – 800 км). Ядерний реактор на висотах 800 – 1000 км створює подібне поле на відстанях до 300 – 500 км у нижню півсферу і до 1000 – 3000 км у верхню. Для ГСО зона перевищення фону поширюється вниз на відстані 2000 – 3000 км.

Нейтронні потоки від працюючого ЯР стають порівнянними з фоном на відстанях 100 – 300 км.

Ділянки збурення мають вигляд деформованих півсфер, центром яких є ЯР, а радіуси дорівнюють відстаням збурення у верхню і нижню півсфери відносно ЯР. Сектор деформації півсфер становить близько 10 – 15° для кожної з них; його виникнення пояснюється інтенсивним поглинанням випромінювання тіншовим захистом, холодильником-випромінювачем і корисним навантаженням (сумарний коефіцієнт послаблення 10^3 – 10^4). Півсфери переміщуються у просторі зі швидкістю руху КА на орбіті; їх центр у часі і просторі має характеристики орбіти, тобто геометричні

параметри ділянок збурення у просторі жорстко пов'язані з орбітальним польотом КА з ЯР. Виникаючі поля в часі стаціонарні, тобто залишаються сталими за весь період роботи ЯР. Після його зупинення поля, що створюються розглянутими джерелами, зникають. Кутовий розподіл випромінювань — ізотропний, а спектр жорсткіший, ніж у гамма-квантів природного походження.

Випромінювання працюючого ЯР можуть зашкодити дослідженням в ділянці гамма-астрономії (нейтронні зірки, квазари та інші об'єкти), однак побоювання того, що гамма-випромінювання може пошкодити електронні схеми пролітаючих поблизу КА, безпідставні. Допустима поглинута доза (за Si) для найбільш чутливих елементів радіоелектронної апаратури — інтегральних мікросхем становить приблизно 10^6 рад, що відповідає потоку квантів близько 10^{15} кв./см².

Щоб отримати таку дозу, потрібно перебувати біля працюючого ЯР на відстані не більшій ніж 10 км (див. табл. 7.5) протягом кількох сотень років. На відстані понад 1 км дозове поле, яке створюється працюючими ЯР, стає майже непомітним на тлі поля від природних космічних джерел.

Власне, електронне випромінювання ЯР, яке з'являється під час радіоактивного розпаду напрацьованих уламків ділення, не виходить за межі його активної зони. Однак взаємодія миттєвих гамма-квантів із тонкими зовнішніми шарами оболонки ЯР у разі їх виходу з активної зони приводить до генерації вторинних електронів, які виходять у НКП. Ці електрони (а також позитрони процесу утворення пар) захоплюються геомагнітним полем, здійснюють коливальні рухи уздовж магнітної силової лінії і широтний дрейф, утворюючи (особливо на низьких висотах) штучний радіаційний пояс. Розрахункові та експериментальні дані свідчать про те, 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 РБО належать колові орбіти заввишки від 700 км і більше, час балістичного існування на яких значно більший, ніж час спаду активності уламків ділення до безпечного рівня. Мінімумально необхідний час існування ЯР на РБО залежно від теплової потужності і тривалості роботи $\tau = 43,3(2,56 + \ln P_{\tau} T)$ років. Із збільшенням маси об'єкта час зростає. Що вища орбіта, то більший цей час. Так, за висоти орбіти

300 км цей час буде перевишувати 1000 років, при цьому ЯР стає цілковито безпечним у разі повернення в атмосферу. Захоронення відпрацьованих ЯР в «орбітальних сховищах» створює додатково дві проблеми:

- 1) вплив випромінювань вимкненого ЯР на НКП;
- 2) поява на орбітах радіоактивного космічного сміття.

Після зупинення ЯР головну роль у формуванні поля випромінювань у НКП будуть грати гамма-кванти продуктів ділення. Активація миттєвими нейтронами конструкційних матеріалів ЯЕУ призводить до виникнення наведеної радіоактивності в конструкції установки. Рештою джерел у першому наближенні можна знехтувати.

Захоронення ЯЕУ на високих орбітах призводить до нагромадження «космічного сміття». Саме по собі його існування там не має викликати особливих побоювань. Однак зіткнення із фрагментами «космічного сміття» може призвести до руйнування великих об'єктів, зміни їх балістичних характеристик, різкого скорочення часу перебування на орбіті і, як результат, до неконтрольованого виходу в атмосферу.

Натепер на навколосеземних орбітах у діапазоні h приблизно 700–1500 км перебуває близько 60 об'єктів з радіоактивними матеріалами. До них належать: КА з радіоізотопними генераторами (КА та РІГ); КА з реакторними ЯЕУ (КА та ЯЕУ); реакторні ЯЕУ з відсіком відведення (ЯЕУ та ВВ); складання твелів, викинуті з корпусу ЯР (табл. 7.6).

Таблиця 7.6

**Основні характеристики космічних об'єктів
із радіоактивними матеріалами**

Об'єкт	Кількість	Діаметр, м	Довжина, м	Маса, кг
КА та РІГ	10	0,5–1,11	0,3–1,5	70–3
КА та ЯЕУ	3	1,3	10,0	380
ЯЕУ та ВВ	13	1,3	5,8	125
ЯЕУ та ВВ без складання	16	1,3	5,8	120
Складання твелів	16	0,2	0,6	53

До складу цих об'єктів входить приблизно 1 т радіоактивних речовин (U^{235} ; Pu^{238} , фрагменти ділення), які використовуються в

енергетичних установках, а також активізовані конструкційні елементи. Порівняльні дані за значеннями радіоактивності об'єктів наведені в табл. 7.7 (теплова потужність ЯР – 50 кВт).

Таблиця 7.7

Зміна радіоактивності Кі об'єктів із часом

Об'єкт	Час, с								
	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸
Продукти ділення у твелах	2·10 ⁵	1,5·10 ⁵	1,5·10 ⁵	1,5·10 ⁵	10 ⁵	7·10 ⁴	2·10 ⁴	7·10 ³	10 ³
Матеріали активної зони	2·10 ³	1,8·10 ³	1,5·10 ³	1,5·10 ³	1,2·10 ³	10 ³	7·10 ²	5·10 ²	2·10 ²
Відображувач з берилію	20	20	10	10	7	0,2	0,2	0,1	0,08

Як свідчать дані, основний внесок в активність роблять продукти ділення у твелах. Однак, якщо йдеться про неконтрольоване входження в атмосферу, то доцільно враховувати решту джерел. Крім наведених у табл. 7.7, певний внесок дає теплоносій (калій, натрій) – 60–100 Кі у момент зупинки. Проте періоди піврозпаду NaIК невеликі (відповідно 14 і 12,5 год).

Отже, якщо розглядати один об'єкт, то його фрагментація, незважаючи на можливість різкого скорочення часу існування, не призводить до зростання радіаційної небезпеки для населення Землі. Однак збільшення кількості КА з ЯЕУ на навколосемних орбітах, зростання їх потужності разом зі збільшенням загальної маси «космічного сміття» можуть призвести до значно більшої кількості зіткнень і в результаті — до підвищення радіаційної небезпеки.

■ Розділ 8

УТИЛІЗАЦІЯ КОСМІЧНОГО ТРАНСПОРТУ, ЩО ВИЙШОВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ _____

Експлуатація КТ — це сукупність штатних (за нормального функціонування) та аварійних діянь на всіх етапах: виробництво, експлуатація, ліквідація та утилізація. Головний вплив космічної діяльності на поверхню Землі сконцентрований у прилеглих до космодромів, районах падіння (РП) ступенів космічних ракет, які являють собою спеціально відведені великі території. Крім цього, в результаті аварійних падінь КА і ракет, можливе виникнення екологічної катастрофи на різних ділянках земної поверхні. Варто зауважити, що лише останніми роками у світі, ведуться цільові дослідження та з'явилися відкриті публікації, присвячені цим проблемам.

Запуск об'єктів РКТ у космос реалізується зі спеціальних стаціонарних наземних об'єктів — космодромів. Але ця традиція була порушена в 1999 р., коли такі держави, як США, Росія, Норвегія та Україна реалізували новий проєкт з назвою «Морський старт» — космічний корабель стартував з морської платформи.

8.1. Вплив космічної діяльності на екологічний стан біосфери Землі

Сьогодні у світі активно експлуатуються 15 космодромів, кожний з яких являє собою складну інженерну споруду та є об'єктом підвищеної екологічної небезпеки. Активно ведуться роботи з «Повітряного старту» у різних країнах, зокрема в Україні, оскільки вона вже має досвід з реалізації проєкту «Повітряно-космічний літак» («Буран»). У 1988 р. (за СРСР) ця програма була закрита у зв'язку з недостатнім фінансуванням.

Експлуатація космодромів істотно впливає на навколишнє середовище, особливо в разі аварій важких та надважких ракет на старті, коли значна кількість палива (кілька сот тонн) потрапляє в атмосферу та на поверхню Землі. Зауважимо, що конкретні дані та аналіз екологічного забруднення прилеглих районів космодромів

практично відсутні у відкритих джерелах, оскільки кожен космодром є режимним об'єктом. Наявні ракетно-космічні системи реалізовані, зазвичай, за багатоступеневою схемою (за винятком нових багаторазових одноступеневих ракет). Ракетносії мають від двох до шести ступенів та множин інших відокремлених елементів, кожний з яких відкидається за непотрібністю після того, як він виконає свою функцію в польоті у процесі виведення в космос корисного навантаження — КА. Райони падіння ступенів ракет розташовані уздовж траси польотів ракетносіїв.

Найменшу небезпеку з погляду впливу на довкілля становлять падіння головних обтічників. Загальна площа таких районів тільки в Росії становить 5.259.000 га. Забруднення спричиняє падіння других ступенів ракет «Союз», тобто двох великих фрагментів. Другі ступені ракет «Протон» та «Циклон» руйнуються під час падіння на висотах 35–50 км, їх фрагменти забруднені високо-токсичними компонентами палива, зокрема гептилом.

Найбільшу небезпеку становить падіння перших ступенів ракет «Протон», «Космос», «Циклон», «Циклон-М». Падаючи на землю, ці ступені самовільно вибухають, що забезпечує розсіювання в атмосферу та розлив високотоксичних компонентів. Загальна площа таких зон оцінюється приблизно в 1 млн га.

Проблема РП має передісторію. На початку космічної ери над цим питанням не замислювались. Визначаючи місця розташування космодромів та траєкторії виведення, головним було запобігти ризику падіння ступенів та фрагментів ракет на населені пункти та інші важливі об'єкти наземної інфраструктури, зокрема використовуючи підрив ступенів у польоті.

Крім РП ступенів ракет при запусках, існують також і штатні райони «затоплення» космічних об'єктів після керованого припинення їх існування на навколоземній орбіті. Наприклад, штатний район затоплення вантажних космічних кораблів «Прогрес» (Росія) має площу в кілька квадратних кілометрів і знаходиться в південній частині Тихого океану, на сході Нової Зеландії.

Падіння об'єктів РКТ та їх фрагментів на земну поверхню можуть призводити до руйнування населених пунктів, потенційно небезпечних промислових об'єктів, природних об'єктів. Космічні апарати мають обмежений час існування на навколоземних орбітах (5–10 років).

Для низьких орбіт (близько 200 км) час існування не перевищує кілька місяців, після чого об'єкт переходить у режим повернення на Землю, або закінчує своє існування і практично згорає в шарах атмосфери, де температура сягає тисяч градусів. Цій проблемі приділяється недостатньо уваги при проєктуванні КА, а також у процесі експлуатації. Ця проблема тісно пов'язана з космічним сміттям — не контрольованим згорянням великих фрагментів ступенів ракет та падінням цих залишків на Землю з космосу.

Останнім часом інтерес до цієї проблеми невпинно зростає. Особливу небезпеку становлять падіння космічних об'єктів, які мають на борту ядерні установки.

У 1964 р. супутник «Транзит» (США) з радіоізотопним генератором зруйнувався в аварії і згорів у атмосфері над Індійським океаном. Згорів і контейнер з радіоактивним плутонієм, при цьому в атмосфері Землі було розсіяно 2,1 фунта плутонію-238.

Як було зазначено вище, плутоній-238 є одним із найнебезпечніших радіоактивних речовин; канцерогенну дозу становить одна мільйонна частка грама цієї речовини. Таким чином, формально одного фунта достатньо, щоб викликати рак у кожній людині на Землі. Аналіз радіоактивного пилу за спеціальною програмою в 1970 р. показав, що він наявний на всіх широтах Землі. Професор медичного факультету Каліфорнійського університету Д. Гофман вважає, що регулярні розсіювання плутонію-238 призвели до зростання захворюваності на рак легенів на всій планеті Земля.

Натепер у НЗП перебуває більше ніж 60 об'єктів з радіоізотопними термоелектричними генераторами та ядерними енергетичними установками, зокрема 56 об'єктів — на висотах 800–1500 км, а два на геостационарних орбітах (висота близько 36 тис. км). Росії належить 31 КА з ядерними енергетичними установками. Руйнування цих КА у разі зіткнення з «космічним сміттям» та їх наступне входження в щільні шари атмосфери можуть спричинити екологічні наслідки.

У 1996 р. зруйнувався та впав у Тихий океан, недалеко від Чилі, російський космічний зонд «Марс», що мав на борту півфунта плутонію. 13 грудня 1996 р. чилійська газета «EL Mercurio» повідомила про те, що протягом двох діб поспіль підрозділи болівійської армії знаходили залишки російської станції «Марс-96»,

яка мала на борту ядерні джерела енергії, на території Болівії. На думку багатьох фахівців, особливу небезпеку становлять проекти із запуску космічного зонду «Кассіні», призначеного для дослідження Сатурну, що має на борту ядерний реактор з 72 фунтами плутонію-238. У разі катастрофи, при проходженні КА поблизу Землі, радіацією можуть бути уражені 30–40 млн людей, а загальний вплив на довкілля буде глобальним. Небезпека катастрофи «Кассіні» може набути більших масштабів у разі другого прольоту навколо Землі на висоті 800 км (найзабрудненіший шар космічного сміття), де ймовірність аварійного зіткнення для такого об'єкта дуже велика.

Отже, радіаційна небезпека космічної діяльності є реальною, особливо під час реалізації перспективних космічних проєктів. Вона безпосередньо впливає на здоров'я та самопочуття космонавтів. Над цією проблемою працюють усі без винятку країни-члени космічного клубу. У багатьох країнах створені спеціальні лабораторії, стенди, тренажери, де проводяться дослідження щодо впливу космічного випромінювання на здоров'я та самопочуття космонавтів під час довготривалого польоту.

Приміром, під час польоту космічного корабля «Аполлон-8» (осінь 1968 р.) командир корабля полковник Ф. Борман занедужав після прольоту космічним кораблем радіаційних поясів Землі та магнітосфери.

На думку вчених, радіаційна небезпека сучасних довготривалих польотів за пріоритетом не нижче, ніж невагомість. Наразі розроблені нові норми радіаційної безпеки для космонавтів, що будуть дуже жорсткими. Тепер відсутні достовірні факти та дози, які космонавти отримали та отримують під час польотів. Зазвичай вони «знаходяться в допустимих межах». Тому в разі довгострокового перебування людини в космосі необхідно мати спеціальні радіаційні сховища з підвищеною товщиною захисту, що дозволять знаходитись там космонавтам за підвищеної сонячної активності. Потрібно також передбачити захист бортових систем, комп'ютерів, а також інших засобів електроніки від радіаційної небезпеки. Галактичні космічні промені (з надзвичайно високою енергетикою) мають здатність короткочасно впливати на організм людини і бортову техніку в космосі. Це може призвести до збоїв у роботі систем життєзабезпечення на борту космічного корабля.

8.2. Вплив антропогенного фактора на навколосезний простір та екологію біосфери

Польоти космічних ракет супроводжуються потужними динамічними збуреннями навколосезного простору (НЗП) та випромінюванням великої енергії в навколишнє середовище (рис. 8.1, 8.2, 8.3).



Рис. 8.1. Старт української ракети «Зеніт-3SL» з морської платформи



Рис. 8.2. Українська ракета «Зеніт-3SLB» на старті космодрому «Байконур»



Рис. 8.3. Старт української конверсійної ракети «Дніпро»

Динамічні збурення щільності в результаті польоту космічних ракет проявляються у вигляді акусто-гравітаційних хвиль, що поширюються на відстань у сотні і навіть тисячі кілометрів. Низькочастотні акустичні хвилі з періодом 1,5–4 хв спостерігалися під час запуску космічних кораблів «Аполлон-12» та «Аполлон-13». Фазова та групова швидкість цих хвиль становила 0,7–0,8 км/с та 0,22–0,45 км/с відповідно.

Виникнення акусто-гравітаційних хвиль із груповими швидкостями близько 0,3 км/с було зареєстровано при запусках ракет «Сатурн». Спостереження проводились доплерівським зондуванням іоносфери. Метод доплерівського зондування іоносфери дозволяє надійно фіксувати основні параметри цих коливань та визначати за ними характеристики хвильових рухів.

Узагальнення даних більше ніж 300 таких спостережень під час пуску ракет з американських космодромів, дало змогу виокремити два типи хвильових збурень: надзвукові хвилі з груповою швидкістю близько 1 км/с та дозвукові хвилі зі швидкістю 0,2 км/с. Аналогічні результати були отримані під час спостережень на відстанях багатьох тисяч кілометрів від місця польоту ракети. При цьому швидкість розповсюдження збурення становила 1 км/с, а горизонтальна довжина хвилі — 1500 км. Таким чином, у ре-

зультаті динамічного впливу ракет у НЗП, а виникають переміщення збурень нейтральної щільності та електронної концентрації, які мають період порядку 1 год, а просторові розміри цих збурень становлять 1000–1500 км. За цими основними показниками, збурення близькі до добових варіацій щільності верхньої атмосфери: 1 год та 1000 км. Проблема антропогенного випромінювання енергії в НС є ключовою під час аналізу будь-якої екосистеми. При цьому потрібно розрізняти імпульсні (або квазіперіодичні) діючі джерела. Як відомо, у НЗП наявні квазіперіодичні (сонячне ультрафіолетове випромінювання) та імпульсні (геомагнітні бурі) джерела енергії. Потужність першого з цих джерел дорівнює в середньому 10 000 Гвт, а потужність другого — для помірної геомагнітної бурі дорівнює 100 Гвт. Потужність джерела енергії пов'язана з польотом ракети «Протон» і становить близько 10 Гвт. Це значення дорівнює зоні висот 100 км. Оскільки в даному випадку антропогенне джерело є квазіперіодичним та імпульсним, його слід порівнювати з аналогічним природним, тобто з джерелом, пов'язаним з геомагнітною бурєю, першопричиною виникнення якої є сонячний вітер. У цьому випадку потужність антропогенного джерела становить 10 % від природного джерела. За помірної геомагнітної бурі у НЗП виникає комплекс явищ у верхній атмосфері та іоносфері, які характеризуються змінами густини, складу, температури. Під час геомагнітної бурі «внесок» енергії в середовище здійснюється винятково у високоширотних зонах, і час дії джерела становить приблизно годину. Ракети зазвичай запускають на середніх широтах, і час їх польоту в зоні висот понад 100 км не перевищує кілька хвилин. Розрахунки за допомогою моделі верхньої атмосфери свідчать про те, що підвищення температури в середньому на 10 % може відбуватися в зоні з горизонтальними розмірами в кілька сотень кілометрів на висотах понад 150–200 км.

При польоті ракет у НЗП (у всіх її частинах: верхній атмосфері, іоносфері та магнітосфері) утворюються різні хімічні речовини. Найважливішими з них є: H_2O , H_2 , CO_2 .

Основними продуктами викидів двигунів сучасних ракет є діоксид вуглецю, що згідно з розрахунками поширюється в нижній термосфері на сотні кілометрів від траєкторії ракети. Діоксид вуглецю відіграє дуже важливу роль у тепловому балансі термо-

сфери, оскільки інфрачервоне випромінювання цього компонента є одним із головних каналів охолодження середовища. Тепловий баланс термосфери встановлюється в результаті нагрівання ультрафіолетовим випромінюванням та охолодження інфрачервоним випромінюванням, більша частина якого зумовлена молекулами CO₂. Проаналізуємо вплив роботи двигунів ракет на нижню частину НЗП — стратомезосферу. Це середовище має дуже складний хімічний склад, основним компонентом якого є озон.

Оскільки озон є останньою перешкодою на шляху небезпечного для всього живого ультрафіолетового випромінювання, основна частина якого поглинається на великих висотах, то його склад і кількість становлять предмет пильної уваги і в наш час перетворилося на важливу екологічну проблему збереження озонового шару Землі. У результаті роботи двигунів ракет утворюються майже всі ті речовини, що зумовлюють загибель озону у природних умовах. Найважливішими з них є оксид азоту та його хлорсполуками: AlCl₂, HCl, Cl₂. Останні утворюються в результаті роботи двигунів на твердому паливі.

На жаль, сьогодні відсутні будь-які надійні дані спостереження змін озонового шару при запусках ракет, тому оцінювання таких змін будується тільки на підставі модельних розрахунків. У такому разі особливого значення набувають точні знання про численну кількість сполук, що руйнують озоновий шар.

Найбільші труднощі виникають у процесі виявлення складу оксиду азоту, оскільки на нього, як і на інші компоненти, впливають істотно неврівноважені процеси, причому настільки, що за їх умови врахування змісту оксиду азоту підвищується на шість порядків. Крім цього, додаткове утворення оксиду азоту може відбуватися при взаємодії вивільненого у великих кількостях молекулярного азоту з атомарним киснем верхньої атмосфери – «догорання».

Як показують численні спостереження, польоти космічних ракет супроводжуються істотними змінами концентрації електронів у іоносфері. У результаті утворюються «іоносферні дірки». Перші спостереження за «іоносферною діркою» відносять до початку 60-х років і пов'язують із запуском потужних американських ракет «Атлас» та «Сатурн». Найбільш великомасштабні падіння електронної концентрації спостерігалися в результаті запуску ракети «Сатурн-5». У низці випадків горизонтальні розміри «дірки» сягали

кількох мільйонів квадратних кілометрів. При цьому електронна концентрація зменшилась у кілька разів. Спочатку спостерігались «дірки», утворені над територією США, а потім вони були виявлені при зондуванні іоносфери над територією Західної Європи, України та колишнього СРСР. Падіння електронної концентрації у верхній атмосфері при польоті ракет має суто хімічну природу. Таким чином, у результаті космічної діяльності природне середовище, яким є НЗП, губить свої основні властивості (сезонні та широтні варіації, зміна сонячної активності), визначені дією Сонця, та набуває зовсім інших властивостей залежно від частоти запуску потужних космічних ракет, які формують маси різних тіл та сполук, яких немає у природних умовах.

Хоча природні умови на значній частині земної кулі вже давно змінені в результаті антропогенних дій, дотепер ці зміни були головним чином сумою локальних змін, які потім поширювались на величезному просторі тільки в результаті розширення сфери господарської діяльності людини. Наприклад, вирубування лісів на одному континенті не впливає на ліси інших континентів, будівництво дамб на окремих річках не впливає на стік водних мас в інших. Коли людина починає впливати на глобальні природні процеси, у цьому випадку вплив на НС одного району може змінити природні умови в інших районах, віддалених на великі відстані. Деякі приклади впливу людини на широкомасштабні природні процеси були відомі і раніше. Наприклад, знищення перелітних птахів в окремих країнах середніх широт змінило фауну тих тропічних країн, де ці птахи перебували у відповідні сезони. Аналогічна ситуація відбувалась із деякими морськими тваринами та рибами. Але ці приклади належать до тих компонентів біосфери, вплив яких на неї не дуже великий.

Останніми роками досліджено, що від діяльності людини почали змінюватися фізичні та хімічні складові атмосфери та океану, в результаті чого виникає можливість антропогенної зміни інших компонентів біосфери. При цьому, завдяки інтенсивному горизонтальному змішуванню атмосфери та верхніх шарів океанічних вод, антропогенний вплив на океан особливо на атмосферу може поширюватись на великі відстані від району, де ці дії відбуваються.

Оскільки атмосферні процеси суттєво впливають на всі компоненти біосфери, включаючи живі організми, очевидно, що велико-

масштабні зміни системи «атмосфера–океан» обов'язково призведуть до зміни біосфери загалом, які можуть стати несприятливими і навіть катастрофічними для всього людства. Під атмосферою розуміють приземний шар газу, тропосферу, яка поширюється на висоті 16–18 км в екваторіальній зоні та до 8–10 км у полярних широтах.

Фізичні процеси, які відбуваються у тропосфері, визначають зміни погоди і чинять глибокі впливи на кліматичні умови різних регіонів світу. До цих процесів належать: поглинання сонячної радіації; формування потоку довгохвильового випромінювання, яке надходить у космічний простір; вологообіг, пов'язаний із формуванням хмар та випадінням опадів. Визначення впливу антропогенної зміни НЗП на кліматичні процеси пов'язане з передаванням певних збурювань НЗП у тропосферу і є частиною більш загальної проблеми — сонячно-земних зв'язків. Гіпотеза про наявність сонячно-земних зв'язків полягає в тому, що приземна та верхня атмосфера НЗП складають єдине природне середовище, в середині якого є безліч прямих та зворотних зв'язків, завдяки яким виникає можливість передавання через НЗП ефектів, пов'язаних з активністю Сонця в приземну атмосферу.

Наявність у НЗП твердих фрагментів «космічного сміття», з одного боку, становлять небезпеку для КА, а з другого боку — змінюють природні властивості саме НЗП. Таким чином, для оцінювання граничного рівня такого забруднення доцільно використовувати як техногенні, так і фізичні критерії. Головним технологічним критерієм у цьому разі є ймовірність зіткнення КА із фрагментами «космічного сміття» розміром 1 см і більше.

Імовірність зіткнення КА з «космічним сміттям» оцінювалась неодноразово. Ключовим моментом цих розрахунків є вибір моделі «космічного сміття». Такі моделі були розроблені в Центрі програмних досліджень Російської академії наук (РАН) для розрахунків імовірності зіткнення для космічної станції «МИР». Виявилось, що за сучасного рівня забруднення НЗП імовірність зіткнення частинок «космічного сміття» поверхнею станції становить 40 % для частинок розміром більш як 3 мм, 8 % для частинок розміром 5 мм та 2 % для частинок розміром 10 мм за десять років. Таким чином, зіткнення з частинкою більш як 3 мм може трапитись один раз на 25 років.

Оцінювання за іншими моделями дають більш точні ймовірності. Так, якщо площа поперечного перетину КА 10 м^2 , то ймовірність зіткнення з частинкою розміром у 10 см за 5 років становить 3% , якщо ж площа 50 м^2 , то 17% .

Загальноприйняті критерії надійності роботи систем КА потребують імовірності не більш як $0,001$ – $0,0001 \%$. Отже, всі космічні апарати працюють сьогодні в зоні підвищеної небезпеки. Для того, щоб запобігти цій небезпеці, потрібно знизити рівень «космічного сміття» в кілька разів, і це можливо в разі зупинення всієї космічної діяльності всіх країн космічного клубу приблизно на 50 років. Розрахунки свідчать про те, що зупинення космічної діяльності на 75 років забезпечить зменшення «космічного сміття» у $2,7$ разу.

Розглянемо напрями зменшення забруднення НЗП твердими частинками, а також максимального уникнення забруднення екології біосфери.

Рівень «космічного сміття» можна знизити за рахунок пошуку компромісу між безпекою космічної діяльності і необхідністю її продовження. Одним із напрямів є інтеграція космічних досліджень та вибір критерію ефективності кожного запуску ракети. Це дасть змогу систематизувати космічні дослідження, зменшити витрати кожної окремої країни-члена космічного клубу та значно зменшити кількість запусків.

Доцільно розробити системи підвищеного захисту КА, хоча це потребує додаткової маси системи (виведення на орбіту 1 кг коштує приблизно $10\,000$ дол. США).

Необхідно заборонити всім країнам-членам космічного клубу реалізовувати на орбітах передбачувані та непередбачувані вибухи по закінченні терміну служби КА.

Зобов'язати країни-члени космічного клубу принципово змінити технологію виведення КА на орбіту і довести до мінімуму відокремлення їх фрагментів, що супроводжують цей процес.

Потрібно розробити стандарти безпеки поведінки в НЗП, урахувавши конструкції ракет-носіїв та КА, з процедурою атестування зі зменшення орбітального сміття.

Слід розробити КА з використанням сучасних технологій, матеріалів, безвідходних технологій, які підвищать ресурси їх активного існування. Необхідно розробити орбітальні системи для збирання «космічного сміття» на низьких та середніх орбітах, застосовуючи технології їх утилізації.

8.3. Джерела техногенного забруднення навколоземного простору

До складу НЗП входять: верхня атмосфера, іоносфера та магнітосфера. Розглядаючи екологічні проблеми, логічно послуговуватися уявленнями про НЗП, до складу якого входять верхня атмосфера та іоносфера. Саме в цих структурах провадиться космічна діяльність.

У процесі роботи ракетних двигунів у НЗП викидається величезна маса різних хімічних продуктів, переважно газоутворених. Ці продукти мають дуже високу температуру і швидкість у ближчій від сопла ракети зоні, внаслідок чого відбувається швидке гідродинамічне розширення маси газу, що викидається, і його охолодження до температури НС. У результаті у верхній атмосфері вздовж всієї траєкторії польоту ракети формується хмара з дуже складними хімічними сполуками газів, що вже за температури НС вступають у взаємодію з компонентами верхньої атмосфери і іоносфери в процесі повільного дифузного розпилу хмар.

Сучасні ракети мають рідинні та твердопаливні двигуни. Найпотужнішими з рідинних двигунів ракет є російсько-український «Протон» (рис. 8.4), з твердопаливних — американський «Шаттл» (рис. 8.5). Розподіл продуктів викидів за висотами уздовж траєкторії польоту РН визначається з урахуванням циклограм роботи двигунів за результатами розрахунку складу компонентів продуктів згоряння струменя, що витікає з двигуна (рис. 8.4–8.6).



Рис. 8.4. Ракета «Протон»



Рис. 8.5. Космічний корабель «Шаттл»

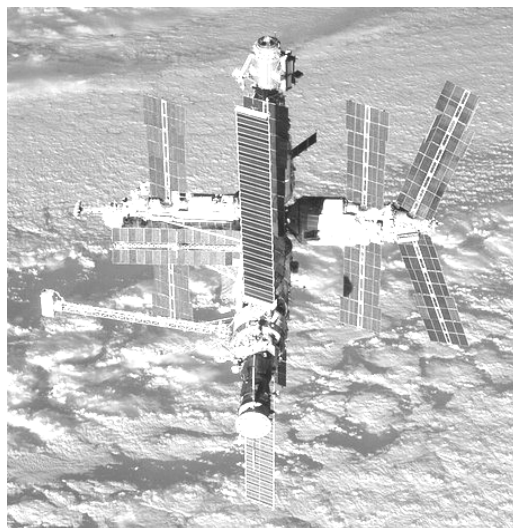


Рис. 8.6. Міжнародна космічна станція в польоті

Результати розрахунків розподілу компонентів, що викидаються у верхню атмосферу під час польоту ракет «Протон», «Протон-М» та «Шаттл», наведені в табл. 8.1–8.3.

Таблиця 8.1

Викиди в атмосферу компонентів продуктів згоряння під час польоту ракети «Протон»

Діапазон висот, км	Маса компонентів у діапазоні висот, т					
	CO ₂	H ₂ O	CO	NO	H ₂	N ₂
0–10	81,04	66,39	0,0636	2,0170	0,001203	71,41
10–20	28,83	23,68	0,09028	0,7299	0,003131	26,19
20–30	21,32	17,44	0,06929	0,5469	0,007107	20,34
30–40	15,94	14,44	1,65600	0,4748	0,061260	17,20
40–50	7,464	7,842	2,06000	0,2699	0,091490	11,63
50–70	6,442	7,446	2,53400	0,2323	0,120700	8,933
70–100	13,03	15,07	5,12700	0,4701	0,244200	18,07
100–130	14,53	16,79	5,71600	0,5240	0,272300	20,15
130–160	8,107	9,397	3,23700	0,2918	0,155800	11,29
160–200	7,514	8,896	3,32900	0,2665	0,170800	10,30
200–201	1,792	2,122	7,94200	0,06358	0,040730	1,474
Усього	206,0	189,5	24,6800	5,8870	1,169000	217,5

Таблиця 8.2

**Викиди в атмосферу компонентів продуктів згоряння
під час польоту ракети «Протон-М»**

Діапазон висот, км	Маса компонентів у діапазоні висот, т					
	CO ₂	H ₂ O	CO	NO	H ₂	N ₂
0–10	78,20	64,06	0,06018	1,9460	0,001131	71,86
10–20	29,47	24,20	0,0929	0,7460	0,003206	27,56
20–30	21,02	17,19	0,06826	0,5392	0,007001	20,98
30–40	15,55	14,09	1,6160	0,4631	0,059750	17,53
40–50	7,357	7,732	2,0340	0,2661	0,090370	6,692
50–70	6,165	7,127	2,4260	0,2224	0,115600	8,465
70–100	13,42	15,52	5,2820	0,4842	0,251600	18,43
100–130	18,05	20,86	7,10100	0,6510	0,338300	24,78
130–156	10,77	13,57	4,2370	0,3895	0,242500	14,79
Усього	200,60	184,30	22,920	5,7070	1,109000	211,10

Таблиця 8.3

**Викиди в атмосферу компонентів продуктів згоряння
ракети «Шаттл»**

Діапазон висот, км	Маса компонентів у діапазоні висот, т					
	CO ₂	H ₂ O	CO	NO	H ₂	N ₂
0–10	234,30	267,60	0,1120	8,38700	0,002808	45,8200
10–20	94,46	99,89	0,3912	0,74650	0,004146	18,5500
20–30	69,88	84,30	0,6668	0,17463	0,979200	7,4690
30–40	36,85	55,36	1,0380	0,06233	–	–
40–50	0,36	26,09	2,4710	0,02164	1,140000	0,9687
50–70	0,00	56,03	0,0000	0,03651	2,064000	0,2329
70–100	0,00	124,20	0,0000	0,08090	4,573000	0,7556
100–109	0,00	124,30	0,0000	0,08103	4,581000	1,0780
Усього	437,9	837,8	4,6790	9,59000	13,360000	88,3500

Основними продуктами викидів РД є вода та діоксид вуглецю. При прольоті ракети «Протон» у НЗП надходить близько 100 т води та більше ніж 90 т діоксиду вуглецю, а при прольоті ракети «Шаттл» — 570 т води та більше ніж 100 т діоксиду вуглецю.

На висоті понад 100 км молекули води дисоціюють під впливом сонячного ультрафіолетового випромінювання, створюючи атомарний водень. Для ракети «Шаттл» утворюється 14 т атомарного

водню, для ракети «Протон» — 5,5 т. Крім цього, «Шаттл» на висоті понад 100 км викидає близько 4,5 т молекулярного водню. Таким чином, сумарний вихід водню під час польоту «Шаттла» сягає близько 19 т, що дорівнює 21 % від глобального складу водню на висотах вище 100 км.

При цьому ракета «Протон» на висотах понад 100 км викидає близько 30 т діоксиду вуглецю, а «Шаттл» майже на цих же висотах діоксид вуглецю не викидає. Це пов'язано з хімічним складом палива та циклограмою роботи двигунів. У процесі роботи двигуни ракети «Протон» на висотах понад 100 км викидають близько 30 т CO_2 , що набагато важче від атомів водню і більше за розміром, тому дифузійне розпилення цієї хмари проходить набагато повільніше.

Концентрація всіх компонентів верхньої атмосфери нижче 100 км, у страто-мезосфері різко підвищується, у зв'язку з чим їх внесок у складові продуктів роботи ракетних двигунів при одно-разових запусках стають не настільки важливими, як за високої частоти запусків. Крім того, висока щільність газів заважає поширенню продуктів на істотні відстані від місця викидів.

На підставі вищевикладеного зробимо висновки щодо поширення в НЗП продуктів роботи РД:

- пара H_2O є головним продуктом, який утворюється в НЗП у результаті роботи ракетних двигунів;

- на висотах понад 100 км молекули H_2O доволі швидко розкладаються, утворюючи водень, кількість якого навіть від однієї ракети порівнюється з його глобальним реальним складом;

- водень поширюється на відстань у десятки кілометрів, утворюючи в НЗП грибоподібну хмару, склад атомів водню в якому перевищує фонове значення на відсотки під час польоту ракети «Протон» та на десятки відсотків під час польоту ракети «Шаттл»;

- ступінь порушення реального балансу водню в НЗП істотно залежить від геліогеографічних умов і він максимальний за низької сонячної активності, особливо якщо запуски ракет відбуваються періодично;

- створений у результаті польотів ракети «Протон» CO_2 поширюється в НЗП повільніше, ніж водень із більшими масою і розміром молекул. Цей розподіл усередині цієї ділянки вкрай нерівномірний — від одиниць відсотків на межі до багаторазового перевищення в зоні, де проходила траєкторія польоту ракети.

8.4. Забруднення навколоземного простору твердими фрагментами («космічним сміттям»)

Виведення на орбіти КА та їх подальше функціонування супроводжується утворенням у навколишньому просторі великої кількості техногенного сміття (рис. 8.7), яке складається із закінчивших своє активне існування супутників, останніх ступенів ракет-носіїв, елементів систем відділення супутників від носіїв, розгінних блоків, а також уламків супутників та ракет-носіїв, утворених у результаті аварійних та передбачуваних вибухів (рис. 8.8).

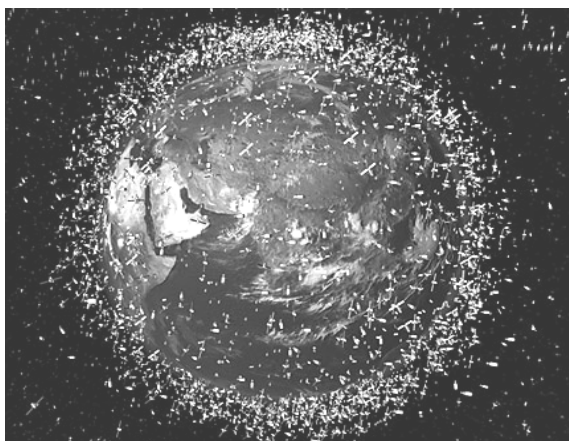


Рис. 8.7. Космічне сміття навколо земної кулі

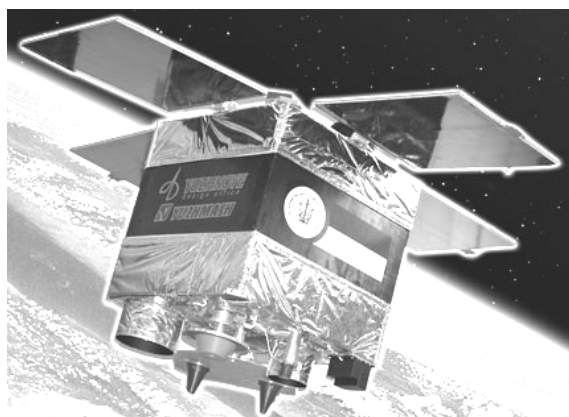


Рис. 8.8. Український супутник «Січ-2»

Передбачувані вибухи проводяться з метою знищення секретних супутників після закінчення їх строку служби. Аварійні та раптові вибухи пов'язані із залишками ракетного палива в маневрових двигунах та розгінних блоках КА.

Темпи космічної діяльності набули такої швидкості, що попри поступове падіння твердих фрагментів та їх дальше згоряння в більш щільних шарах атмосфери відбувається неперервне зростання «космічного сміття», яке вже реально загрожує безпеці космічної діяльності країн-членів космічного клубу. Ця загроза посилюється тими обставинами, що фрагменти «космічного сміття» мають велику швидкість (6–10 км/с), за якої навіть частинки розміром 1 см можуть пробити обшивку сучасного космічного корабля.

Техногенна небезпека «космічного сміття» може мати і тяжкі екологічні наслідки в разі аварійного падіння КА на Землю.

Існує і пряма екологічна небезпека, пов'язана з порушенням основних властивостей НЗП. Уже зараз маса «космічного сміття» дорівнює масі газу верхньої атмосфери вищої ніж 400 км. Неприпустимим стосовно як техногенної, так і екологічної небезпеки є досягнення критичної маси «космічного сміття», за якої почнеться лавинний процес збільшення кількості його частинок за рахунок їх дроблення та зіткнення однієї з одною.

Нині в НЗП перебувають більше ніж 12,5 тис. об'єктів розміром понад 10 см та більше ніж 600 тис. об'єктів розміром від 1 см і більше. За цими фрагментами йде неперервне спостереження, і всі вони занесені до спеціальних каталогів. Такі каталоги ведуть у NASA (каталог NORAD) та в Роскосмосі (каталог військового космічного командування РФ). Загальна маса об'єктів, що занесені до каталогу, перевищує 10 тис. т. Крім цього, існує велика кількість малих об'єктів, про наявність яких свідчать результати аналізу багатьох каверн, які з'явилися на панелях сонячних батарей супутників унаслідок їх бомбардування твердими частинками (рис. 8.9). Під час польоту американського космічного корабля «Спейс Шаттл», у його ілюмінатор потрапила частинка сміття, що залишила вирву діаметром 2,4 мм та глибиною 0,63 мм, пошкодивши скло кабіни з кругом діаметром 4 мм. Дослідження показало, що це була маленька частинка фарби діаметром 0,2 мм, яка летіла зі швидкістю 6 км/с. Висотний розподіл частинок різних розмірів наведено в табл. 8.4.



Рис. 8.9. Зразок пошкодження сонячних батарей
«космічним сміттям»

Таблиця 8.4

Висотний розподіл кількості частинок різних розмірів

Висота, км	Розміри частинок «космічного сміття», см									
	0,07– 0,14	0,14– 0,27	0,27– 0,52	0,52– 1,0	1,0– 1,93	1,93– 3,72	3,72– 7,19	7,19-14	>14	
400–500	1242040	370345	76588	14120	2408	1107	548	268	400	
500–600	2064880	414636	99229	24008	4603	2183	1116	560	641	
600–700	3410015	805907	195365	46015	8336	3750	1622	684	559	
700–800	9397239	2234551	511986	113770	19021	7921	3200	1269	857	
800–900	16321351	3752529	828911	178484	28721	11506	4515	1749	1005	
900– 1000	17580631	4156329	899649	187732	29454	11545	4457	1704	957	
1000– 1100	10120706	2187788	449015	90129	13771	5290	2013	761	414	
1100– 1200	4239356	767937	141002	26054	3751	1376	506	186	110	
1200– 1300	7307334	1280854	228925	41288	5829	2103	762	277	162	
1300– 1400	17300361	3213444	597393	111099	16055	5903	2171	799	465	
1400– 1500	24522201	4820060	930354	178140	26308	9841	3668	1365	797	
1500– 1600	2223672	427036	81238	15390	2256	839	312	116	41	

Закінчення табл. 8.4

Висота, км	Розміри частинок «космічного сміття», см								
	0,07– 0,14	0,14– 0,27	0,27– 0,52	0,52– 1,0	1,0– 1,93	1,93– 3,72	3,72– 7,19	7,19–14	>14
1600– 1700	1182881	224067	42257	7954	1160	430	180	59	34
1700– 1800	972600	182934	34343	6442	938	347	129	48	28
1800– 1900	971078	182766	34322	6439	937	347	129	48	28
1900– 2000	909311	173592	32898	6214	909	338	126	47	27

Основна маса «космічного сміття» знаходиться на висоті нижче ніж 1000 км. Оскільки маленькі фрагменти «космічного сміття» (менше ніж 10 см) поки що неможливо каталогізувати, єдиним засобом кількісного опису є побудова їх статистичних моделей. Моделі засмічення космічного простору забезпечують математичний опис розподілу об'єктів у просторі, рух потоку об'єктів та їх фізичні характеристики (розмір, масу, щільність, особливості переміщення).

Для виявлення ймовірності зближення та зіткнення КА з «космічним сміттям» розроблені і розробляються математичні моделі засмічення космічного простору, які описують розподіл уламків у просторі, їх рух і фізичні характеристики. Моделі за своїми характеристиками можуть бути короткостроковими (часові періоди на 10 років) та довгостроковими (часові періоди більше 10 років). Ані короткострокові, ані довгострокові моделі не враховують періодичність зміни концентрації сміття, що після чергового руйнування залишків КА зберігається від кількох годин до кількох місяців.

Метою довгострокового моделювання засмічення НЗП є склад довгострокових (до 100 років) прогнозів кількості об'єктів як функції часу, висоти, зниження і розміру об'єкта. Ці прогнози відіграють важливу роль у процесі оцінювання, коли необхідно ухвалити рішення зі зниження засмічення та ефективності даних дій, а також впливати на нову космічну діяльність. Прикладами довгострокових і короткострокових моделей є: CHAIN (NASA), CHAINEE (EKA), LUCA (DRL), SDPA (PKA); EVOLVE (NASA), MASTER (EKA), ORDEM – 96 (NASA), SDM/STAT (EKA).

Дослідження, проведені в Інституті астрономії РАН і NASA, свідчать про те, що більше ніж 40 % «космічного сміття», розташованого на низьких навколосеземних орбітах — уламки. Уламки за своїм хімічним складом утворюються зі сполук заліза, титану, алюмінію, кремнію. Але 80 % цих уламків — це різні сполуки алюмінію, оскільки обшивка ракетноносіїв та паливних баків саме той матеріал, що застосовується для їх виготовлення.

Руйнуються супутники, які перебувають на орбітах більше 20 років після запуску та давно вичерпали свої енергетичні ресурси і стали «космічним сміттям». Засміченість навколосеземного космосу збільшується зі зростанням міцності використаних для запуску ракет. Вибухи других ступенів семи ракет «Дельта» додали більше 1300 каталогізованих фрагментів. Після вибуху упродовж 4–5 років відбувається еволюція уламків вибуху, у результаті чого вони «накривають» усю Землю. Було зареєстровано багато випадків зіткнення космічних апаратів із фрагментами «космічного сміття».

Перше зіткнення відбулося 24 липня 1996 р. на висоті 660 км із французьким супутником CERISE, який був запущений у липні 1995 р. Зіткнення відбулося із фрагментом третього ступеня французької ракети «Аріан», яка була запущена ще в 1986 р. Відносна швидкість на час зіткнення дорівнювала близько 15 км/с. 23 грудня 1991 р. радянський навігаційний супутник «Космос-1934» (Парус) зіткнувся з фрагментами аналогічного КА «Космос-926» («Цикада»), а 17 січня 2005 р. в американський ракетний ступінь «Burner 2A» (запущений у березні 1974 р.) влучив фрагмент третього ступеня китайського ракетноносія CZ-4 (запущений у жовтні 2001 р.). 11 січня 2007 р. на висоті 865 км китайська ракета знищила китайський супутник Fengyun-1C масою 960 кг. У результаті з'явилося більше ніж 2000 нових уламків розміром у кілька сантиметрів і більше, при цьому засміченість космосу підвищилась на 22 %.

Загальну схему прогнозованих розрахунків умісту космічного сміття визначають так.

Розподіл твердих фрагментів розраховується на основі моделювання процесів забруднення НЗП на попередньому інтервалі. Параметри моделі налагоджені так, щоб якнайточніше забезпечити відповідність результатів моделювання та експериментальних даних. Отримані таким чином характеристики поточного стану використовуються як початкові умови для прогнозу.

При прогнозуванні стану НЗП до 2010 р. передбачено чотири сценарії формування «космічного сміття»:

- збереження утворювання на рівні періоду 1991–1995 рр.;
- зменшення кількості вибухів у п'ять разів при збереженні попередньої інтенсивності запусків та утворення фрагментів, обумовлених технологіями;
- повне виключення вибухів при збереженні інших умов на попередньому рівні;
- зменшення удвічі швидкості утворення технологічних фрагментів за повної відсутності вибухів та збереження інтенсивності пусків на попередньому рівні.

Але ні в жодному із зазначених вище сценаріїв не передбачена тенденція розширення космічної діяльності та введення до складу космічного клубу нових держав. Крім цього, треба брати до уваги зростаючу комерціалізацію космічної діяльності. Враховуючи ці обставини, а також плани розгортання в космосі величезних платформ і станцій, ця діяльність буде супроводжуватися зростанням забруднення космічного простору. Так що прогноз за першим сценарієм треба оцінювати як мінімальний. Згідно з цим у кінці XXI ст. у НЗП буде близько мільйона об'єктів розміром більше ніж 1 см. Зіткнення з космічними апаратами цих уламків може призвести до тяжких катастроф і аварій.

Крім засмічення НЗП твердими фрагментами, космос забруднюється радіоактивними речовинами. Ядерні реактори використовувались як джерела енергії на супутниках СРСР серії «Космос». Ці реактори працювали на сплавах та сполуках U-238 з 90 % і більшим збагаченням до U-235. Головним засобом забезпечення радіоактивної безпеки була консервація ядерних енергетичних установок (точніше її активної зони) на достатньо високих орбітах, де час життя таких об'єктів набагато більше від часу розпаду залишків ядерного палива реактора до безпечного рівня. До них належать орбіти, розташовані на висотах вище 700 км. Натепер у НЗП на висотах 800–1000 км знаходиться більше 50 об'єктів з радіоактивними фрагментами. США меншою мірою використовували такі об'єкти 12, у той же час СРСР утричі більше — 36.

Таким чином, ядерні енергетичні установки перебувають у НЗП у двох станах: штатному режимі увімкненого ядерного реактора на робочій орбіті та в режимі консервації на більш високих орбітах із зупиненим реактором. Працюючий ядерний реактор реально змінює звичайну фонову картину потоків нейтронів і гамма-квантів у зоні НЗП. Ці зміни тим помітніші, чим вища орбіта. Вибір орбіт консервації ядерних реакторів був упроваджений у кінці 60-х років

XX ст., коли рівень «космічного сміття» був ще недостатньо великим. Але сьогодні область висот 800–1000 км найбільше забруднена, в результаті чого виникає реальна небезпека зіткнення КА з ядерними установками, з «космічним сміттям».

8.5. Екологічний вплив космічної діяльності на приземну атмосферу

Вплив ракетно-космічної техніки (РКТ) на приземну атмосферу залежить насамперед від типів застосовуваної техніки, кількості та місць запусків.

Перший штучний супутник Землі масою 83,6 кг був запущений на навколосезну орбіту із застосуванням ракетноносія (масою 267 т) 4 жовтня 1957 р. в СРСР.

Почалась не тільки космічна ера, але й реальний вплив РКТ на планету та космічний простір. Найпотужніша дія відбувається на космодромах у момент старту ракет.

Реалізований нині світовий вантажопотік становить 100–120 запусків ракетноносіїв на рік. Але у разі збільшення країн-членів космічного клубу ця цифра при вирішенні нових завдань буде набагато більшою.

Головними шкідливими факторами, що впливають на НС під час запусків ракет, є великі викиди продуктів згоряння під час старту в приземному шарі атмосфери та тропосфери. Ці викиди призводять до випадіння кислотних дощів, збільшення в повітрі виважених частинок, токсичного забруднення хмар.

Одна з найбільших і найпотужніших у світі ракет — «Сатурн-5» (США) мала стартову масу 2800 т і висоту близько 100 м. Вона неодноразово запускалась у 1967–1972 рр. при підготовці з реалізації Місячної програми та виведення в космос першої американської орбітальної пілотованої космічної станції «Скайлеб» у 1973 р. Перший запуск «Сатурн-5» відбувся 9 листопада 1967 р. (три ступені ракети виводили космічний корабель «Аполлон» масою 20,4 т). Від роботи двигунів будівлі колихались, як при землетрусі. На відстані 5 км від старту провалився дах павільйону телевізійної компанії. Гуркіт двигунів за рівнем шуму дорівнював виверженню у 1883 р. вулкану Кракатау в Зондській протоці. Викликана роботою двигунів першого ступеня повітряна ударна хвиля була зареєстрована в Геологічній обсерваторії Ламонт-Доєрті в Палісейді, штат Нью-Йорк, що розташована на відстані 1770 км від місця старту ракети. У СРСР була виготовлена ракета

«Енергія», яка є вищим технічним досягненням: її стартова маса сягає 2400 т при можливості доставлення в космос корисного навантаження 95 т. Позитивним в її конструкції є прогресивний кисень — воднева технологія палива. Ракета-носій «Енергія» проектувалась для виведення багаторазового космічного корабля «Буран» (масою близько 100 т). Єдиний запуск «Енергія–Буран» був реалізований у 1988 р., а в 1992 р. ця програма була закрита з фінансових причин.

У США тривалий час експлуатувалась багаторазова транспортна космічна система «Спейс-Шаттл», яка мала стартову масу близько 2 тис. т і висоту майже 60 м, яка дозволяла виводити в космос на навколосезну орбіту багаторазовий транспортний космічний корабель (БТКК) «Шаттл» масою 100 т з корисним навантаженням 30 т. Система експлуатувалася з 1981-го по 2012 рік. Було виконано більше 100 польотів. Система орбітального маневрування використовувала паливо з дуже токсичними компонентами: монометілгідрозін – 2000 кг, чотириоксид азоту – 3400 кг, що разом складало 5400 кг. Аналогічне паливо (і в такій же кількості) використовується в системі орієнтації. Загальна маса палива складала 10 т, що частково використовується у процесі польоту на маневрування та орієнтацію корабля. При поверненні на Землю, після повного переходу на аеродинамічне управління (на висотах нижче ніж 20 км), залишок даного високотоксичного палива з цих систем зливається в атмосферу (це становить приблизно від 2 до 5 т).

Отже, за час експлуатації системи «Спейс-Шаттл», окрім робочих викидів газів на старті, у приземну атмосферу при кожному польоті перед посадкою зливається кілька тонн високотоксичного палива. Таким чином, за весь час експлуатації системи «Спейс-Шаттл» було злито в атмосферу більше ніж 600 т палива.

Дослідження екологічної небезпеки космічної діяльності свідчать про те, що треба пам'ятати про військовий генезис ракетної техніки, який значною мірою є продовженням «холодної війни», у результаті якої виникло об'єднання ракетної та ядерної технологій. Зауважимо, що потрібно пам'ятати про наслідки, які виникли і виникають під час випробовування ядерної зброї в космосі, на землі і під водою.

Вплив запусків ракет на тропосферу з подальшою зміною метеорологічних умов вивчено недостатньо.

Так, енергія будь-якого циклонічного утворення на багато порядків перевищує енергію, що виникає під час польоту найпотуж-

нішої космічної ракети. Крім того, тропосфера являє собою більш щільне середовище порівняно з НЗП, і будь-які гідродинамічні збурення затухають швидше і на малих відстанях від джерела.

Таким чином, жодне динамічне збурення, яке виникло при польоті ракети, не має поширюватися на масштаби, характерні для метеорологічних процесів. Тобто з цього погляду збурення від ракет у термосфері є не дуже масштабними та низькоенергетичними. Але проводяться дослідження зі встановлення зв'язку між запусками ракет та зміною погодних умов. На думку вчених, є взаємозв'язок і кореляція між запуском ракет та перебудовою циклічної діяльності. Так, при запусках «Шаттла» у великому районі від Центральної Америки до Західної Азії впродовж майже декади спостерігалось зростання циклічної активності. В середньому один пуск «Шаттла» формує в північній частині Атлантичного океану та в Карибському басейні більше двох додаткових циклонів. Окрім того, запуск «Шаттла» змінює погодні умови в Європі, поширюється до Кавказу і навіть проникає в Закавказзя із затримкою на одну декаду. При цьому найбільші ефекти мають місце взимку і супроводжуються потеплінням у Європі та похолоданням у Північній Америці. Влітку ці зміни мають більш локальний характер. Зміни погоди в результаті запусків ракет з космодрому «Байконур» мають більш локальний характер і супроводжуються збільшенням опадів у районі космодрому.

Зміна метеорологічних параметрів та погодних умов настільки велика, що для пошуку чіткої кореляції цієї зміни з будь-якою подією, пов'язаною із запуском ракет, потрібна статистика, яка не завжди є коректною. Як відомо, метеорологічні ряди спостережень є найтривалішими з-поміж тих, що застосовуються для пошуку кореляційних зв'язків. Водночас здійснення багатолітнього спостереження та встановлення кореляції між сонячною активністю та метеопроцесами є коректним, тому що сонячна активність має період 11 років і за цей час можна отримати результати наукових досліджень.

Зауважимо, що вплив запусків ракет на погодні умови якщо й можливий, то переважно в районах, прилеглих до космодромів. Разом із цим у зв'язку з розширенням космічної діяльності країнами-членами космічного клубу необхідно організувати спеціальні систематичні дослідження комплексу проблем, пов'язаних із впливом космічної діяльності на метеорологічні умови.

Досліджуючи радіоактивне забруднення НЗП, дійшли висновку, що у зв'язку зі зростанням «космічного сміття» швидко збіль-

шується вірогідність руйнування відпрацьованих ядерних енергетичних установок, переведених на орбіти консервації. Ця обставина, а також можливі аварійні ситуації, зокрема відмова системи переведення супутника на вищу орбіту, можуть бути причиною досить швидкого зниження штучного супутника з ядерним реактором, входження його в щільні шари атмосфери, що супроводжується руйнуванням ядерної енергетичної установки, згорянням ядерного палива і потраплянням радіоактивних частинок у приземну атмосферу і далі — на поверхню Землі. У деяких випадках можливе навіть падіння на Землю окремих фрагментів реактора, як це було в 1978 р. при аварії супутника «Космос-954» (СРСР), коли великі радіоактивні частинки розвіялись над територією північної Канади.

Спеціальний аналіз атмосфери в різних районах планети в червні та вересні 1978 р. довів, що більшість багатотонної маси супутника «Космос-954» випаровувалась і була розпорошена в атмосфері Землі (приблизно 37 кг ядерного палива).

Уважають, що для гарантування радіаційної безпеки на Землі твели ядерного палива мають згорати за високої температури від тертя супутника в щільних шарах атмосфери, а частинки діаметром 1 мкм розпорошуватись на висоті не менш як 30,5 км.

Однак ядерне паливо знаходиться в середині реактора, оточене зовнішніми оболонками, відбивачем і різними елементами конструкції реактора. Тому передбачене попереднє розділення ядерної енергетичної установки на кілька фрагментів (складання твелів, відбивач, тінювий захист, корпус реактора) на висотах близько 90 км, де має місце доволі сильний вплив аеродинамічного потоку. В результаті у стратосфері виникає хмара радіоактивних частинок розміром приблизно 1 мкм. Унаслідок цього процес осідання радіоактивних частинок у тропосфері може зайняти від одного до п'яти років. За цей час кількість радіонуклідів із великим періодом напіврозпаду ($Cz137$ та $Sc90$) майже не зміниться. Як показують розрахунки, у результаті руйнації реактора потужністю 80 кВт забруднення атмосфери радіонуклідами на три порядки менше від їх природного вмісту. Найбільшу небезпеку завдають викиди радіоактивного плутонію: 450 г плутонію-238 за його рівномірного поширення досить, щоб викликати захворювання на рак у всіх

людей, які живуть на планеті Земля. При цьому він утворює в 280 разів більше енергії, ніж Pu-239 та в 280 разів більш радіоактивний.

21 квітня 1964 р. навігаційний супутник США «Транзит 5 BN-3» не вийшов на заплановану орбіту, зруйнувався та згорів у атмосфері над західною частиною Індійського океану на півночі Мадагаскару, викинувши 950 г плутонію-238 загальною активністю 17 тис. Ки. Унаслідок цього, вміст даного радіонукліда в навколоземному просторі збільшився утричі.

У листопаді 1970 р. в атмосфері залишилося близько 5 % плутонію, а аналіз ґрунтів виявив наявність цього плутонію на всіх континентах Землі. Із 41 космічного апарата (СРСР), які використовували ядерні енергетичні установки, шість КА були аварійними. Таким чином, надійність цих апаратів становить 85,4 %. Цей рівень надійності дуже небезпечний і підтверджує той факт, що космонавтика є сферою особливо ризикованої діяльності, причому наслідки цього ризику поширюються не тільки на учасників космічної діяльності, але й на все людство.

Отже, об'єкти сучасної та перспективної РКТ, особливо ракетноносії, є складними і потенційно небезпечними, викликають серйозну екологічну загрозу внаслідок значних запасів високоенергетичного хімічного палива, яке впливає на екологію біосфери, приземну атмосферу при експлуатації, ліквідації та утилізації.

Наявність на борту КА ядерних джерел енергії, ядерного палива та радіоактивних матеріалів становить загрозу забрудненню приземної атмосфери, а також усій поверхні Землі у разі аварійних ситуацій.

Зауважимо, що сучасна РКТ була створена в «доекологічний період» і дотепер відсутня нормативна база і конкретні вимоги до екологічних характеристик.

Сучасні та перспективні ракети мають велику масу, високу енергетику та значні запаси токсичних палив, інтенсивно забруднюють приземну атмосферу, особливо в районах запуску, що пов'язано з падінням ступенів ракет, а також у разі їх аварій, ліквідації та утилізації.

Застосування КА з ядерними установками за умови їх руйнування та у разі аварійних і непередбачуваних наслідків завдають великої шкоди екології космосу і біосфері Землі.

■ Розділ 9

ПРОБЛЕМА «КОСМІЧНОГО СМІТТЯ» В НАВКОЛОЗЕМНОМУ ПРОСТОРИ _____

9.1. Наслідки освоєння навколоземного космічного простору і контроль забруднення

Область функціонування РКТ становить приблизно 1012–1013 км³. Однак дослідження останніх років свідчать про те, що і тут активна людська діяльність має істотні негативні наслідки.

Із моменту запуску першого супутника (04.10.1957) і дотепер засобами контролю космічного простору США і Росії було зареєстровано та каталогізовано понад 25 тис. космічних об'єктів штучного походження розміром понад 10–30 см. Приблизно 17 тис. з них знизились під дією атмосфери настільки, що досягли щільних шарів верхньої атмосфери, зруйнувались і згоріли. Решта, кількість яких становить близько 9 тис., продовжують залишатись у космосі. З них майже половина російські.

Характерною особливістю всієї діяльності з освоєння космічного простору є неперервне його засмічення об'єктами штучного походження. Кількість запусків супутників становила приблизно 100 на рік. Протягом останніх 20 років маса об'єктів, які щорічно виводяться на орбіти, становить приблизно 160 т. У результаті запуску нових космічних об'єктів, виконання різних технологічних операцій на функціонуючих апаратах унаслідок вибухів та аварій щорічно утворюється 600–700 фрагментів розміром понад 10–30 см.

У 1981 р. організація NASA підготувала перший офіційний звіт із проблем «космічного сміття», а в 1988 р. Європейське космічне агентство (ESA) також підготувало такий оглядовий звіт. У 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 НЗП у результаті діяльності людини, а також рекомендації міністерствам щодо проведення узгодженої програми науково-дослідних робіт, завданням

яких є підвищення можливостей виявлення і стеження за об'єктами штучного походження, моделювання рівня забруднення на навколоземних орбітах, координація зусиль для збирання даних, розроблення «Загальних технологій з метою зниження ступеня забруднення і підвищення живучості КА». Підготовлена спільна програма реалізації цих рекомендацій.

У 1993 і 1997 рр. ESA організувало конференції з «космічного сміття», на яких були широко представлені результати досліджень експертів із різних країн. У 1992 і 1995 рр. проведено дві спеціалізовані конференції, присвячені темі «космічне сміття», і в Росії.

3-поміж можливих негативних наслідків освоєння НЗП виявлена небезпека зіткнення КА з техногенними частинками, що перебувають у космосі. Діапазон їх розмірів виявився дуже широким — від кількох мікрон до кількох метрів, причому кількість дрібних частинок перевищила кілька мільйонів. Широкий спектр мають і наслідки зіткнення КА з цими частинками — від повільної ерозії поверхні (оптичних приладів, датчиків, панелей сонячних батарей) до вибухів і цілковитого руйнування. Установлено, що основну небезпеку становлять дрібні частинки, кількість яких різко зростає в міру зменшення розмірів.

Хоча останнім часом з'явилися результати досліджень можливого передбачення зближень КА з великими каталогізованими об'єктами [56], 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 одного з іншим об'єктів, що спричинить лавиноподібний процес забруднення і унеможливить загалом дальшу космічну діяльність. Орієнтовна сучасна оцінка зіткнень каталогізованих космічних об'єктів дорівнює одному за кілька десятків років, за оцінками деяких фахівців ще через 50 років кількість зіткнень збільшиться в 10–20 разів. 24 липня 1996 р. уперше зафіксовано зіткнення двох об'єктів – французького супутника «Serise» із 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 стосується, зокрема, можливого впливу речовини супутників, що згоряють на фізико-хімічні процеси у

верхній атмосфері, які, можливо, будуть впливати на атмосферні явища і погоду в нижній атмосфері.

Найбільш повні і достовірні оцінки ступеня забруднення НЗП небезпечними об'єктами отримані системами контролю космічного простору (СККП) Росії і США. Еволюція кількості каталогізованих об'єктів свідчить, що за період 1961–2001 рр. загальна кількість космічних об'єктів склала понад 9000.

На початковому етапі освоєння космічного простору з-поміж дрібніших (некаталогізованих) космічних об'єктів головну роль відігравали об'єкти природного походження — мікрометеорити. У нинішніх умовах відношення потоку штучних об'єктів до природних залежить від розмірів об'єктів. Рівність потоків — приблизно 1 мм. Для менших розмірів переважає потік метеоритів, для більших — потік штучних космічних об'єктів для розмірів в 1 см відношення становить приблизно 40, для 10 см майже 10 000.

Для оцінювання ступеня достатності даних про дрібні фрагменти важливо сформулювати реальний критерій достатності. Велика кількість дрібних небезпечних фрагментів і досвід каталогізації великих 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».

Розглянемо процес забруднення НЗП дрібними фрагментами.

Кількісний опис ступеня забруднення такими фрагментами порівняно з каталогізованими суттєво ускладнений. По-перше, це пов'язано з обмеженими можливостями засобів вимірювань (мале відношення «сигнал/шум»). Отже, перспективним є створення вимірювальних систем космічного базування, які також не мають суттєво засмічувати НЗП. По-друге, — з великою кількістю дрібних фрагментів. Тому можливість індивідуальної каталогізації за аналогією з великими космічними об'єктами є надто проблематичною і в найближчі десятиріччя не може бути реалізована. Для фрагментів такого типу реальним і ефективним напрямом робіт є створення статистичних моделей засміченості, які повинні максимально використовувати всю наявну інформацію.

На Заході для оцінювання концентрації космічних об'єктів і розрахунку вірогідності їх зіткнення застосовується числовий підхід, який ґрунтується на поштучному аналізі каталогізованих

космічних об'єктів. Завдання вирішується з використанням простих алгоритмів і потужної обчислювальної техніки. У Росії на основі розвитку статистичної механіки ансамблю супутників створені методи розв'язування комплексу задач з аналізу і прогнозування обстановки в НЗП, які будучи реалізованими у вигляді моделі на звичайному персональному комп'ютері, вирішують широке коло задач за 5–10 хв.

Фахівці, стурбовані наслідками людської діяльності в космосі, шукають шляхи попередження критичного рівня забруднення. Основними є такі напрями:

- зменшення кількості техногенних об'єктів, які утворюються при запуску та експлуатації КА;
- підвищення надійності і, отже, збільшення часу активного існування КА, зниження ймовірності руйнування КА;
- гарантування виключення навмисних вибухів КА;
- розроблення способів очищення НЗП від функціонуючих КА та уламків;
- удосконалення засобів контролю за забрудненням космосу;
- удосконалення методів оцінювання наслідків забруднення в напрямі підвищення достовірності результатів аналізу та прогнозування обстановки в космосі;
- розроблення способів захисту КА від техногенних частинок.

Своєчасним є введення обмежень на запуски КА на висоти понад 800–1000 км та штрафних санкцій для тих країн, які будуть порушувати ці обмеження, зокрема, допускати аварії і вибухи КА.

Одним із напрямів робіт, що сприяють подоланню труднощів контролю дрібних фрагментів, є об'єднання зусиль різних країн щодо їх вимірювання і створення міжнародного банку даних. Із цією метою фахівці з проблем техногенного забруднення НЗП космічних агентств різних країн заснували спеціальний комітет (Inter-Agency Space Debris Committee), який щорічно організовує зустрічі спеціалістів і обговорення актуальних питань.

При комітеті створені чотири робочі групи з таких питань: вимірювання «космічного сміття»; моделювання; захист КА; заходи щодо послаблення техногенного забруднення.

9.2. Просторовий розподіл штучних об'єктів області низьких орбіт

У більшості робіт із проблем засміченості НЗП використовується традиційний підхід — детермінізований, оснований на

розв'язуванні диференціальних рівнянь руху. Такий підхід надзвичайно трудомісткий і може бути реалізований лише на потужних ЕОМ, крім того, він не вирішує проблеми забезпечення адекватної моделі.

Очевидно, що через брак детальних відомостей про елементи орбіт дрібних об'єктів, вивчення небезпеки зіткнень КА з ними потребує застосування статистичного підходу.

За наявними натепер даними головною причиною утворення дрібних некаталогізованих об'єктів є аварії (руйнування, вибухи) космічних об'єктів на орбіті. Характерна ознака цього підходу до опису джерела забруднення полягає в тому, що замість даних про конкретні запуски і випадки руйнування використовуються такі 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 K , 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 трьох елементів орбіт (h_p, e, i) цілком достатньо для статистичного опису обстановки, оскільки інші трих елементи (довгота висхідного вузла Ω , аргумент перигею ω і середня аномалія в початковий момент M_0) з достатньою точністю розподілені рівномірно на інтервалі $0-2\pi$.

Залежності вихідних розподілів від розмірів об'єкта будуються на припущенні, що всі дрібні фрагменти утворились у результаті фрагментації великих (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 розлітання фрагментів від їх розмірів. Що менший розмір частинки, то більший приріст швидкості вона отримує в момент утворення. Таким чином

здійснюється коригування вихідних розподілів каталогізованих об'єктів з урахуванням фрагментації.

У ряді праць 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 із діапазону і поширюється на більш широкі шари. Наприклад, на $h = 850$ км концентрація об'єктів з висотами перигею до 800 км становить 35 % від їх концентрації в діапазоні висот 700–800 км. Причиною цього ефекту є значна частка неколових орбіт, тобто припущення про форми кола всіх орбіт призводить до істотних похибок у 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 $\rho(h, \varphi)$, де h — висота точки над поверхнею Землі; φ — географічна широта, визначається за допомогою виразу

$$\rho(h, \varphi) = \frac{F(\varphi)}{2\pi^2 (h + R^2) \Delta h_{h_p e}} \int \int \Delta\tau(h_p, e) \varphi(h_p, e, h) p(e) dh_p de,$$

де R — радіус Землі;

$$\varphi(h_p, e, h) = \frac{(1 - e^2)}{\sqrt{1 - e^2}} \left(\frac{h + R}{h_p + R} \right);$$

$$F(\varphi) = \int \frac{p(i) di}{\sqrt{\sin^2 i - \sin^2 \varphi}},$$

якщо $\sin i \geq \sin \varphi$; $\Delta\tau(h_p, e)$ — нормований (у частках періоду) інтервал часу, протягом якого космічний об'єкт з елементами орбіти h_p перебуває у висотному діапазоні $(h, h + h)$.

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	$18,6 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,064	0,363	300

Значення $\rho(h, \varphi)_j$ подаються у вигляді добутку:

$$\rho(h, \varphi)_j = \rho(h, \varphi)_{jH\rho_{j\max}},$$

де $\rho_{j\max}$ — максимальне значення концентрації техногенної речовини для j -го 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 у 1999 р.

Найменування показника	1	2	3	4	5	6	7	8
ρ_{\max}	$2,49 \cdot 10^{-4}$	$2,59 \cdot 10^{-5}$	$6,95 \cdot 10^{-6}$	$9,64 \cdot 10^{-7}$	$4,12 \cdot 10^{-7}$	$1,73 \cdot 10^{-7}$	$9,93 \cdot 10^{-8}$	$5,09 \cdot 10^{-8}$

Середнє значення концентрації техногенної речовини різних розмірів на заданій висоті h визначають за допомогою виразу:

$$\bar{\rho}(h)_j = \sum_k \rho(h, \varphi_k) \cos(\varphi_k) / \sum_k \cos(\varphi_k).$$

Такий самий 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 напрямів (азимуту A) можливих проходів космічних об'єктів поблизу даної точки з координатами r, φ, λ . Уважають, що відстань δb від точки до площини орбіти задовольняє умову:

$$|\delta b| \leq \delta r / 2. \quad (9.1)$$

Виконання цієї умови залежить від двох елементів: нахилу і 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 (9.1). У результаті побудови такої «трубки» траєкторій встановлено кількість об'єктів, що пролітають через переріз площею $\delta F = \delta r \delta b$ за час одного періоду. Відповідь зводиться до розв'язання інтеграла. При цьому враховують функціональний зв'язок $i = f(\varphi, \Omega)$ між нахилом і довготою вузла

$$\delta n(\delta F, h) = \frac{\delta F}{r} \frac{P(h)^{2\pi}}{\sin \varphi_0} \int P(\Omega) P(i) \sin i d\Omega. \quad (9.2)$$

Підінтегральний вираз у (9.2) за фіксованого $\Delta\Omega$ характеризує кількість об'єктів (частку від δn), які потрапляють в область δF точки, що розглядається. Всі ці об'єкти проходять через азимутальний сектор

$$(A, A + \Delta A),$$

де
$$\Delta A = \frac{dA}{d\Omega} \Delta\Omega.$$

Похідну визначають на підставі співвідношення $i = f(\varphi, \Omega)$.

У результаті розподіл $P(A)$ набуває вигляду:

$$P(A) = k \frac{\sin i}{\sin \varphi} \frac{d\Omega}{dA} P(\Omega) P(i), \quad (9.3)$$

де замість постійних параметрів уведений нормуючий коефіцієнт k .

Зауважимо, що для отримання достатньо стійких розподілів $P(A)$ кількість реалізацій має становити не менше ніж 1000 (тобто збіжність співвідношення (9.3) має місце за вказаної кількості реалізацій).

9.3. Техногенне забруднення області геостаціонарних орбіт

У зоні 10–20 тис. км найбільша кількість запусків КА здійснювалась в області геостаціонарних орбіт (ГСО). Ця область характерна тим, що в ній супутники на колових орбітах з висотою 35 786 км мають таку саму кутову швидкість обертання, як і у Землі. За нульового нахилу вони постійно «висять» над однією і тією самою точкою поверхні Землі в зоні екватора. Точна кількість

об'єктів, які перебувають на ГСО або поблизу неї, зараз невідома. Точна інформація є тільки про космічні апарати і верхні ступені РН. У 1999 р. у цій області перебувало приблизно 600 КА і близько 200 РН.

Основним джерелом інформації про космічні об'єкти в області ГСО є оптичні вимірювання. Через великі відстані контролю підлягають лише космічні об'єкти великих розмірів — понад 0,5–1,0 м. Дрібніші об'єкти не є каталогізованими. Кутові швидкості руху спостережуваних об'єктів свідчать про те, що багато з них утворилось у результаті вибухів.

Для побудови характеристик потоку частинок «космічного сміття» в зоні ГСО застосовано той самий підхід, що і в області низьких орбіт. Основні припущення методики визначення характеристик «космічного сміття»:

1) усі дрібні частинки «космічного сміття», які становлять небезпеку для КА в зоні ГСО, утворились у результаті вибухів апаратів на колових ГСО;

2) залежність кількості частинок, що утворились, від їх розмірів така сама, як і для низьких орбіт, зокрема, відношення числа частинок розміром $> d$ до кількості каталогізованих космічних об'єктів (розміром > 20 см) розраховують за формулою:

$$k(d) = k(d > 1 \text{ см})/d^x.$$

Параметр x набуває для частинок, менших ніж 1 см, значення 2,55; для частинок, більших ніж 1 см — 1,52. Для оцінювання $k(d = 1 \text{ см})$ взяли значення 54;

3) залежність максимальної швидкості V_{\max} (км/с) розлітання частинок при вибуху від маси частинок m (кг) беруть

$$V_{\max} = 0,65m^{-0,159};$$

4) швидкості розлітання частинок, які реалізуються при вибуху, є випадковими. Закон розподілу значень швидкості розлітання V подають у вигляді β -розподілу:

$$f(V_{\max}) = 5(1 - V/V_{\max})^4.$$

Усі можливі напрями розлітання є однаково ймовірними;

5) співвідношення між розмірами частинок і їх масою беруть відповідно до даних табл. 9.1;

6) кількість об'єктів $N(d > 20 \text{ см})$ в області ГСО вважають такою, що дорівнює 1000.

Розглянемо характеристики техногенного забруднення в області ГСО:

- концентрація частинок різного розміру;
- питомий потік частинок (кількість частинок через одиничний переріз за одиницю часу);
- статистичний розподіл напрямів підльоту частинок відносно вектора швидкості;
- залежність середньої швидкості можливих зіткнень від розміру частинок.

Дані про концентрацію частинок «космічного сміття» різних розмірів наведені в табл. 9.3.

Таблиця 9.3

Значення концентрації (км⁻³) частинок різних розмірів

Номер діапазону <i>j</i>	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	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$6,4 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$6,5 \cdot 10^{-9}$	$1,9 \cdot 10^{-9}$

Дані про питомий потік частинок різних розмірів в області ГСО наведені в табл. 9.4.

Таблиця 9.4

Значення питомого потоку частинок різних розмірів

Номер діапазону <i>j</i>	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	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^{-9}$	$3,3 \cdot 10^{-9}$

Як свідчать результати досліджень, в області ГСО напрями швидкості можливих зіткнень мало відхиляються в напрямку вектора швидкості КА. У більшості випадків ці відхилення не перевищують $\pm 5^\circ$. Інша важлива особливість можливих напрямів підльоту частинок полягає в значній частці можливих ударів по тильному боці КА (протилежному напрямку вектора швидкості). Ця частка тим більша, чим більші розміри частинок «космічного сміття». Для

об'єктів розміром понад 20 см «лобові» і «тильні» зіткнення стають приблизно однаково ймовірними.

Головна причина виникнення перелічених особливостей полягає в тому, що всі космічні об'єкти в області ГСО мають малі нахили і рухаються в одну сторону — із заходу на схід. Тому здебільшого спостерігається один із двох типів зіткнень: або КА наздоганяє частинку «космічного сміття» або навпаки. У всіх цих ситуаціях значення швидкості відносно невелике порівняно зі швидкостями зіткнень на низьких орбітах. Вірогідністю ударів у напрямі нормалі до площини орбіти можна знехтувати. Оцінки значення швидкості можливих зіткнень наведені в табл. 9.5.

Таблиця 9.5

**Значення відносної швидкості зіткнень
частинок різних розмірів**

Номер 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, км/с	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 частинок. Максимальні швидкості у дрібних частинок, мінімальні – у найбільших; різниця між ними — майже в п'ять разів. Головна причина цих відмінностей — можливий розкид тангенціальної складової швидкості у дрібних об'єктів більший, ніж у великих.

**9.4. Характеристики відносного потоку
космічних об'єктів і прогноз техногенного
забруднення навколоземного космічного простору**

Для оцінювання характеристик відносного потоку космічних об'єктів припускають, що КА має сферичну форму і рухається по заданій орбіті. Концентрація частинок «космічного сміття» різних розмірів у будь-якій точці НЗП вважають відомою. Швидкість частинок на даній h із достатньою точністю може бути розрахована за простими формулами еліптичної теорії. Статистичний розподіл можливих напрямів швидкості космічних об'єктів у будь-якій точці

НПС також вважають відомим. Приймають також, що розміри КА значно більші від розмірів фрагментів, що з ним зіштовхуються.

Методика оцінювання середнього очікуваного числа N зіткнень КА сферичної форми з «космічним сміттям» ґрунтується на інтегруванні диференціального рівняння:

$$\frac{dN}{dt} = F\rho(t) \left[\int_{A=0}^{2\pi} P(t, A) V_{rel}(t, A) dA \right], \quad (9.4)$$

де t — час; F — площа поперечного перерізу сфери; $\rho(t)$ — сумарна концентрація частинок у певній точці НЗП, де перебуває КА у момент часу t ; A — азимут напрямку швидкості деякого космічного об'єкта; $P(t, A)$ — густина розподілу напрямку потоків космічних об'єктів у даній точці простору; $V_{rel}(t, A)$ — залежність тангенціальної складової відносної швидкості в даній точці від азимуту.

Відносна швидкість дорівнює векторній різниці швидкостей космічних об'єктів і КА. Напрямок відносної швидкості характеризується тільки її відхиленням ΔA від тангенціальної складової швидкості КА. Цей кут дорівнює:

$$\Delta A \approx \pi - (A_{КА} - A) / 2, \quad (9.5)$$

де $A_{КА}$ — азимут напрямку вектора швидкості заданого КА.

Значення відносної швидкості V_{rel} визначають за формулою:

$$V_{rel} \approx 2V_t \cos(\Delta A). \quad (9.6)$$

Викладена методика дозволяє детально враховувати змінність потоку космічних об'єктів, як функцію елементів розглядуваних орбіт КА і його положення в НЗП. На основі рівняння (9.4) досить просто розрахувати різні характеристики очікуваних зіткнень КА з техногенною речовиною. Методика базується на умові, що наявні у правій частині змінні функції $\rho(t)$ і $P(t, A)$ уже визначені.

Крім оцінювання середнього потоку космічного об'єкта певний інтерес становлять і інші характеристики можливих зіткнень: густина напрямів підльоту космічних об'єктів при можливих зіткненнях, а також густина розподілу значень відносно її швидкості. Ці характеристики будуються на основі виразів (9.5) і (9.6), які дозволяють установити зв'язок між миттєвим значенням потоку $P(t, \delta A)$ в елементарному секторі δA :

$$P(t, \delta A) = F\rho(t)P(t, A)V_{rel}(t, A)\delta A \quad (9.7)$$

і відповідними значеннями ΔA і V_{rel} .

Відбувається складання оцінок (9.7) у відповідних «скриньках» гістограм розподілів $P(\Delta A)$ і $P(V_{rel})$. Після завершення інтегрування виконують нормування гістограм. Середнє значення питомого потоку «космічного сміття» $Q(\text{м}^{-2}\cdot\text{рік}^{-1})$ біля розглядуваної орбіти визначають за результатами інтегрування (9.4) на інтервалі одного витка:

$$Q_I = N_J (FT)^{-1}, \quad (9.8)$$

де T — тривалість витка.

Результати застосування викладеної методики для оцінювання потоку «космічного сміття» відносно серії типових орбіт КА, для восьми діапазонів розмірів космічних об'єктів (див. табл. 9.1) наведені в табл. 9.6 (дані лише для нахилу $i = 55$ і 75°).

Таблиця 9.6

Питомий потік космічних об'єктів різних розмірів відносно КА з різними елементами орбіт

Нахил, градуси	Номер діапазону	Значення питомого потоку КА ($\text{м}^{-2}\cdot\text{р}^{-1}$) 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

Типові орбіти КА вважають коловими. За розрахункові значення висоти і нахилу орбіт узяті відповідно: $h = 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400$ км; $i = 55,75$. Як видно з табл. 9.6, усі розглянуті аргументи (діапазон розмірів «космічного сміття», h, i) істотно впливають на розглядувану характеристику. Для поданих значень нахилів відповідні оцінки потоку відрізняються не більше ніж, у 1,7 разу. 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.

Дані про середню швидкість зіткнень КА з «космічним сміттям» на різних орбітах, які відрізняються висотою і нахилом, наведені в табл. 9.7. Залежність від розмірів частинок не наведена.

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 залежно від h і i . Найбільший вплив на ці оцінки чинить нахил.

Розглянута методика ґрунтувалася на припущенні, що КА мають сферичну форму. Для більшої достовірності оцінок потрібно також брати до уваги форми та орієнтування КА.

Методика врахування форми та орієнтування КА на характеристики впливу можливих зіткнень детально викладена у праці [56]. Середнє значення питомого потоку, визначене на основі рівняння (9.8) для КА сферичної форми з одиничною площиною перерізу, позначається Q_0 . Для інших форм і розмірів КА потік космічних об'єктів (P) через їх поверхню може бути розрахований за такою формулою:

$$P = C_N F_{КА} \theta_0.$$

Коефіцієнт C_N враховує вплив форми КА та орієнтування його за віссю; $F_{КА}$ — характерна площа перерізу КА.

Для тіл обертання її вважають такою, що дорівнює площі їх осьового перерізу, а для панелі — площі її однієї сторони.

Для розроблення заходів екологічної безпеки функціонування РКТ необхідно створити ефективні методи прогнозування техногенного забруднення навколоземного космічного простору.

Із цією метою розглядають різні космічні об'єкти; висота перигею не перевищує 2000 км. Приймається, що зі змінних параметрів лише висота перигею h_p істотно впливає на еволюцію розподілу числа космічних об'єктів з висотою. Густина розподілу висоти об'єктів із вибраної групи в момент часу t позначають $P(t, h)$.

Методика прогнозування ґрунтується на інтегруванні рівнянь у частинних похідних [57], які описують еволюцію розподілу числа космічних об'єктів з висотою;

$$\frac{\partial P(t, h)}{\partial t} = V(t, h) \left[\frac{\partial P(t, h)}{\partial h} = \frac{P(t, h)}{H(t, h)} \right] + dP(t, h, \dots), \quad (9.9)$$

де $V(t, h)$ — швидкість опускання перигею; $H(t, h)$ — висота однорідної атмосфери; $dP(t, h, \dots)$ — швидкість приросту числа космічних об'єктів за одиницю часу на різних висотах за рахунок різних причин.

Розраховуючи еволюцію розподілу числа космічних об'єктів з висотою, враховують такі чинники:

1) гальмування космічних об'єктів у атмосфері на висотах до 2000 км;

2) розподіл всіх космічних об'єктів за елементами на групи, що відрізняються розміром d , значеннями ексцентриситету e і балістичного коефіцієнта ξ ;

3) вихідний розподіл космічних об'єктів різних типів з висотою;

4) очікувана інтенсивність утворення $dP(t, h, \dots)$ нових космічних об'єктів різних типів у результаті запусків і вибухів;

5) нестационарність ураховуваних чинників, а саме густини атмосфери у зв'язку зі зміною сонячної активності в 11-річному циклі та інтенсивності нових запусків.

Як зазначалось вище, серед перелічених чинників важливе значення має висота перигею.

Її характерна особливість полягає в тому, що вона впливає на гальмування, сама змінюється під його дією (перигей опускається і супутники згоряють в атмосфері в зоні висоти 100 км). Тому висо-

та — один з аргументів рівняння (9.9) 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 певною мірою змінюється (зменшується) під дією гальмування, але ця зміна не відіграє 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 кількості об'єктів $dP(h)$ різних розмірів у діапазоні висот 400–2000 км наведено в табл. 9.8. Даним, поданим у табл. 9.8, відповідають дані про номінальний щорічний приріст кількості різних космічних об'єктів (табл. 9.9).

Таблиця 9.8

Номінальні висотні розподіли приросту $dP(h)$

Висота, км	Кількість КО в 100-кілометровому 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

Кількість космічних об'єктів різних розмірів у 2000 р.

Некаталогізовані космічні об'єкти різних розмірів, см				Каталогізовані космічні об'єкти розміром > 20 см				
1,0–2,0	>2,0–4,0	>4,0–8,0	>8,0–20	ШСЗ	Ступені РН, РБ	Техно-логічні уламки	Уламки вибухів	Усього
174113	66451	26254	8985	1416	808	2079	2427	6730

Загальна кількість об'єктів розміром більше 1 см становила 282 тис.

Відношення кількості космічних об'єктів розміром > 1 см до номінального приросту кількості каталогізованих об'єктів складає 54,5, що відповідає даним табл. 9.9: $(10890 + 4290 + 1650 + 825 + 330)/330 = 54,5$.

Дані про кількість об'єктів різних типів у 2000 р. наведені в табл. 9.9.

З метою демонстрації впливу різних заходів, спрямованих на послаблення техногенного забруднення, подаються результати прогнозів техногенного забруднення НЗП на 50 років (з 2000 до 2050 р.) для об'єктів більше ніж 1 см.

У процесі прогнозів обстановки використано п'ять сценаріїв, що характеризують вплив різних способів попередження катастрофічного забруднення НЗП.

Сценарій 1 — інтенсивність забруднення така сама, як і протягом останніх 10 років.

Сценарій 2 — сценарій 1 плюс повне виключення утворення супутніх деталей.

Сценарій 3 — сценарій 1 плюс повне виключення вибухів.

Сценарій 4 — зменшення вдвічі кількості запусків і пов'язаних з ними супутніх деталей і фрагментів руйнувань.

Сценарій 5 — усі заходи сценаріїв 2, 3 і 4 приймаються одночасно.

Сформульована мета прогнозів дає змогу не враховувати зіткнення супутників розміром більше ніж 10 см (каскадний ефект), як джерело забруднення. З-поміж об'єктів розміром більше ніж 10 см зіткнення відбуваються в середньому один раз на кілька десятків років. Якщо будуть уживатися заходи щодо істотного зниження поточної інтенсивності забруднення, то неістотний вплив зіткнень великих супутників на загальний рівень забруднення збережеться.

Результати прогнозу кількості об'єктів розміром більше 1 см в умовах застосування кожного з розглянутих вище сценаріїв показані на рис. 9.1. Використовуються відношення поточного числа об'єктів до відповідної їх кількості в початковий момент.

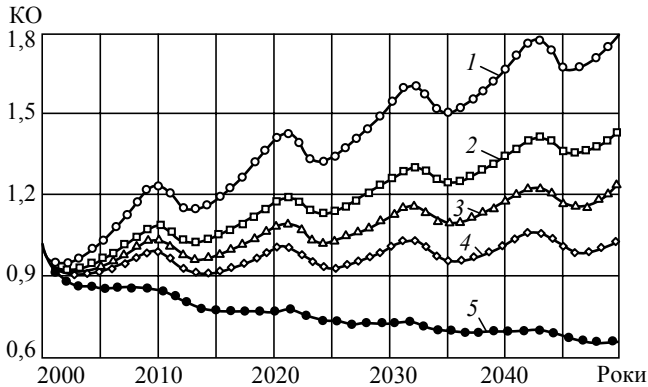


Рис. 9.1. Зміна кількості частинок >1 см за різних сценаріїв (1...5)

Отримані результати свідчать про таке.

У разі збереження поточної технічної політики (сценарій 1) основною закономірністю зміни численності «космічного сміття» є монотонне зростання. Через 50 років кількість частинок розміром більше ніж 1 см збільшиться в 1,8 разу і досягне приблизно 500 тис. Відносно невелика періодична складова зумовлена 11-річним циклом сонячної активності і не має принципового значення.

Способи обмеження інтенсивності утворення «космічного сміття» (сценарії 2, 3 і 4) приводять до істотного зниження темпів забруднення НЗП. Найбільший ефект досягається у разі запобігання вибухів супутників (сценарій 3). Найменшу ефективність має попередження супутніх технологічних фрагментів (сценарій 2). Розглянуті заходи окремо не попереджують монотонне зростання техногенного забруднення НЗП. Тільки загальне застосування різних способів зниження інтенсивності утворення «космічного сміття» (сценарій 5) приводить до загального зменшення його кількості (на 25–30 %).

Отримані оцінки свідчать про складність проблеми попередження монотонного забруднення НЗП. Отже, потрібно застосовувати комплексний підхід до її розв'язання.

9.5. Основні напрями запобігання забруднення «космічним сміттям»

За 2010–2015 рр. було реалізовано більше ніж 70 космічних запусків у всьому світі. Це другий найбільш високий показник кількості запусків з 2000 р., але значно нижчий від показників 1970–1980 рр. Виведені КА належать восьми країнам: Китаю, Франції, Індії, Ізраїлю, Японії, Росії, США, Україні.

Загальна маса, виведена на орбіту Землі, склала більше 370 т без урахування маси американських космічних кораблів «Шаттл». Але більше ніж 115 т від цих запусків повернулися назад на Землю керованим чи некерованим чином. Загалом близько 400 каталогізованих об'єктів повернулися на Землю в період до 2010 р. Одинадцять із 14 керованих повернень були пов'язані з польотом на Міжнародну космічну станцію.

У грудні 2004 р. Франція вивела групу з чотирьох супутників ESSAim на робочі орбіти з висотою 660 км. Супутники завершили свою місію у 2010 р. Для пасивації супутників та зменшення часу їх перебування на орбіті залишки палива були відпрацьовані при серії маневрів для зниження орбіти. Після цих маневрів кожен супутник ESSAim буде залишатися на орбіті не менш ніж 20 років.

Космічний апарат телекомунікаційної системи «Globalstar» функціонує на орбітах заввишки 1415 км. Для цієї висоти маневр на орбіту захоронення заввишки більше 2000 км привабливіший, ніж варіант повернення на Землю упродовж 25 років. Протягом 2010 р. чотири супутники «Globalstar» виконали своє завдання та почали довгий маневр до орбіт захоронення. Для геостаціонарних супутників повернення в атмосферу Землі не є доцільним рішенням [79]. Рекомендації МККС ООН та Міжнародної спілки телезв'язку вказують на необхідність переведення геостаціонарних КА, що закінчили свою місію, на орбіти захоронення, найчастіше на 300 км вище ГСО. До кінця 2010 р. більше 300 геостаціонарних супутників переведені на більш високі орбіти захоронення.

Міжнародна космічна станція (ISS) також є джерелом космічного сміття. У середньому щорічно п'ять уламків відокремлюються від станції. Так у 2007 р. велика кількість резервуарів від аміаку була викинута за борт станції, у 2008 р. пакет з інструментами був загублений при виході у відкритий космос. Усі вони впали на Землю до кінця 2010 р.

Таким чином, боротьба з «космічним сміттям» ведеться за двома напрямками: запобігання його утворенню та видалення вже наявного. Про практичні засоби захоронення «космічного сміття» було викладено вище. Перелічимо теоретичні проекти боротьби з «космічним сміттям»:

- космічний сміттезбиральник для керованого переведення «космічного сміття» в щільні шари земної атмосфери, або на орбіту захоронення (рис. 9.2);
- пілотований багаторазовий космічний транспортний корабель для повернення сміття на Землю;
- лазерний генератор;
- сонячний концентратор;
- КА на базі великої тонкостінної конструкції (для невеликого сміття; у разі зіткнення з КА частина сміття випаровується, а решта залишається і потім згоряє при входженні і в щільні шари атмосфери).



Рис. 9.2. Космічний сміттезбиральник

Усі ці проекти потребують значних капіталовкладень, кооперації різних країн і тому на сьогодні є теоретичними.

Реальні проекти та засоби — це захоронення сміття на високих орбітах.

Розглянемо кілька проєктів, що планують реалізувати протягом 10–20 років. NASA займається випробуванням лазерної «мітли», яка буде видаляти сміття на шляху руху МКС. Проєкт має назву «Orion». Лазерна мітла буде видаляти уламки розміром від 1 до 10 см. Установка повинна працювати за принципом фокусування лазер-

ного променя на шматочок сміття з дальшим гальмуванням його руху, а потім вбирання його зі шляху МКС. Існує ще один варіант застосування лазера: лазерний промінь із наземного лазера коригує траєкторії польоту «космічного сміття». Ця лазерна установка має працювати разом з наземними радаром та телескопами.

9.6. Утилізація «космічного сміття»

Після закінчення активного існування КА необхідно сміття, що залишається на орбіті після руйнування та аварійних вибухів, виводити з робочої орбіти. Для цього є два типи засобів: активні і пасивні.

Активні засоби потребують наявності на борту КА необхідної енергії та робочого тіла. Розрізняють два активні способи виведення КА з орбіти: керований та некерований. Керований спосіб — це виведення космічної станції «Мир» (1999) з дальшим затопленням її в Тихому океані. Прикладом некерованого управління КА та виведення його на іншу орбіту є КА SPOT-1, що функціонував на навколоколової орбіті на висоті 822 км. Спочатку КА за допомогою двох включень реактивних двигунів був переведений на орбіту з висотою 808 км. Потім, після кількох маневрів КА, апарат був переведений на орбіту з висотою 580 км, на якій термін перебування КА становить 16,5 років.

Пасивні системи виведення КА з робочих орбіт поділені на дві групи:

- парусні пристрої (аеродинамічні та сонячні парусні пристрої);
- електродинамічні тросові системи.

Аеродинамічні парусні пристрої можуть бути виготовлені у формі геометричних фігур — кулі, тора, циліндра, піраміди, а також у формі диска, парасольки, парашута, квадрата тощо. Ці моделі запатентовані у США, Росії, Японії, Великій Британії.

Електродинамічні космічні тросові системи розробляють у Росії, США, Італії, Японії, Китаї, Україні. Конструкція електродинамічної системи була створена в ДКБ «Південне» імені М. К. Янгеля. Система має масу, що складає 10 % від маси КА, час її виведення становить від кількох до 25 років.

Перевага системи полягає в тому, що вона працює на орбітах з будь-яким нахилом, без орієнтації та стабілізації. Недолік — велика маса, час виведення більший, ніж у інших систем.

У Росії є програма, у рамках якої розробляється «космічний очищувач», що буде знаходити, захоплювати, скидати в атмосферу деякі уламки великих та небезпечних фрагментів «космічного сміття».

«Космічний очищувач» зможе захопити близько 600 супутників, що не функціонують, і вивести їх з орбіт таким чином, щоб вони згоріли в щільних шарах атмосфери або були затоплені в океані.

Корпорація «Енергія» планує виготовити перший зразковий апарат та почати випробування у 2020 р. і не пізніше 2023 р. вивести його на орбіту. Час перебування на орбіті планується близько 15 років. Існує проєкт «космічний сачок». Він передбачає очищення космічного простору від маленьких частинок із дальшим переведенням у щільні шари атмосфери. На жаль, на сьогодні жоден із цих проєктів не реалізований.

Підводячи підсумки цього розділу, хотілось би зауважити таке. Становище справ у сфері як загальної, так і екологічної безпеки космічної діяльності є зовсім незадовільним.

У той час, коли космічна діяльність (КД) становить собою підвищену глобальну небезпеку для людства, бракує організаційних структур (міжнародних чи вітчизняних), які б відповідали за безпеку цієї діяльності та захист НС. Презентований вище аналіз екологічної небезпеки КД свідчить про необхідність терміново ліквідувати «привілеї» у цій сфері діяльності одних членів КД стосовно інших. Проблема гарантування екологічної безпеки є дуже складною і комплексною. З одного боку — це головна складова загальної проблеми безпеки КД, з другого — частина загальної проблеми гарантування безпеки держави, всієї цивілізації. Маємо парадоксальну ситуацію. Екологічна безпека не є цільовою для космічної макросистеми, призначеної вирішувати конкретні завдання. Проте екологічна безпека в контексті безпеки цивілізації перебуває в дилемі суперечностей «виживання – розвиток», а глобальний характер КД, спрямований на розв'язання проблеми людства, породжує нові глобальні проблеми екологічної безпеки.

У контексті глобального підходу варто оцінювати баланс позитивних та негативних впливів КД в частині її екологічної безпеки для цивілізації та НПС з урахуванням стратегії сталого розвитку. У контексті галузевого підходу слід визначити екологічні пріоритети (обмеження, заборону на діяльність та обов'язкову діяльність) у

загальній проблемі безпеки КД та наявного комплексу соціально-політичних, економічних та інших відносин.

Методологічною основою організації системи управління екологічною безпекою КД є реалізація системного підходу та аналізу ризику. Для комплексного вирішення завдань екологічної безпеки КД необхідно: екологічне планування, оцінювання впливу на НПС, експертиза, нормування, контроль, моніторинг, ліцензування, сертифікація, плата за забруднення та інші види впливу, а також вирішення проблем відходів, екологічне страхування тощо.

На жаль, ці та інші аспекти управління екологічною безпекою недостатньо розроблені у світі, незадовільно реалізуються на практиці. Передбачається складна, тривала робота з їх дослідження, законодавчого регулювання та упровадження в національні та міжнародні системи управління у сфері КД.

Антропогенні навантаження на НЗП уже зараз наближаються до критичних, спостерігається деградація цього середовища. За деякими показниками, вплив людини на НЗП значно перевищує аналогічний вплив на всі інші природні середовища. При збереженні сучасних тенденцій освоєння НЗП це середовище може бути повністю загублено за декілька десятиліть. Якщо це трапиться, то глобальні наслідки екологічно безтурботного освоєння космосу поставлять під загрозу сам факт існування людства. На відміну від екологічних проблем, пов'язаних із забрудненням поверхні Землі, або приземної атмосфери, проблема антропогенної зміни НЗП внаслідок космічної діяльності має глобальний характер. Тому НЗП є об'єктом міжнародного права і саме це право повинне забезпечити перехід космічної діяльності на принципово новий рівень. Найголовнішим у цьому питанні має бути вироблення головних принципів охорони НЗП на базі сталого розвитку, організація обов'язкової міжнародної екологічної експертизи та сертифікація впливу космічної техніки на НЗП.

■ Розділ 10

ПРИРОДООХОРОННІ ЗАХОДИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ _____

В історичному аспекті з появою людей на Землі почався вплив їх діяльності на кругообіг речовини та енергії в біосфері. Це сприяло зміні як процесів міграції речовин, так і зміні потоків енергії в НПС.

Із появою сільськогосподарського виробництва людство вийшло з чергової екологічної кризи, розширило свою екологічну нішу й продовжило розростатися чисельно, поширюючись планетою та витісняючи багатьох мешканців природного середовища. Цей процес суттєво активізувався після «революції машин» у XVIII ст. і надзвичайно загострився в середині XX ст., поступово перетворюючи біосферу на техносферу.

Техносфера — це сукупність штучних і природних об'єктів, створених або змінених цілеспрямованою діяльністю людини.

Техносфера є складовою частиною біосфери, яка з часом може перетворитися в ноосферу, що за теорією В. І. Вернадського має стати основною метою сучасного суспільства.

Однак на сьогодні господарська діяльність людини зумовила деградацію та вичерпування природних ресурсів, що призвело до трансформації сформованих протягом багатьох мільйонів років матеріальних та енергетичних потоків на планеті.

Особливо швидко посилюється вплив людства на природні комплекси у зв'язку з розвитком технічної та технологічної діяльності людини — цей процес називають *техногенезом*.

Інакше кажучи, техногенез — це нинішній етап еволюції біосфери, зумовлений технологічною діяльністю людини, наслідком якої є порушення біотичного кругообігу речовин і природної рівноваги екологічних систем.

Масштаби впливу суспільства на природу зростали так швидко, що людство поступово перетворилося на визначальну геологічну силу світового масштабу, яка дедалі більше впливає на природні процеси (за В. І. Вернадським). Експлуатуючи природні ресурси, людство значною мірою погіршило умови власної життєдіяльності.

Стан навколишнього природного середовища нашої планети у ХХІ ст. продовжує неухильно погіршуватися внаслідок щоразу більшого техногенного впливу. Людина та біосфера дедалі більше втрачають спроможність адаптуватися до швидких глобальних змін. Окрім того, загострюється демографічна проблема, пов'язана як зі зростанням чисельності населення, так і з обмеженістю природних ресурсів і життєвого простору на Землі.

Унаслідок техногенезу катастрофічно збільшилося забруднення всіх компонентів довкілля — атмосферного повітря, води, ґрунтів та харчових продуктів. Людство вже втратило можливість виробляти продукцію промисловості, сільського господарства й продукти харчування, не завдаючи негативного впливу на довкілля. Використання ресурсів біосфери для забезпечення повсякденних потреб призводить до їх вичерпування, зміни природних ландшафтів, зникнення багатьох видів живих організмів і забруднення довкілля відходами діяльності людини, обсяги яких також катастрофічно зростають.

Транспортний комплекс — одне з найпотужніших джерел забруднення навколишнього середовища. Транспорт належить до головних забрудників атмосферного повітря, водойм і ґрунту. Відбувається деградація і загибель екосистем під впливом транспортних забруднень, що особливо інтенсивні на урбанізованих територіях.

Гостро постає проблема утилізації і перероблення відходів, що виникають під час експлуатації транспортних засобів, у тому числі й після завершення строку їх служби. Крім того, транспорт — основне джерело шуму в містах, а також джерело теплового забруднення.

Гази, що виділяються внаслідок спалювання палива у двигунах внутрішнього згоряння, містять понад 200 найменувань шкідливих речовин, у тому числі канцерогени. Нафтопродукти, залишки від стертих шин та гальмівних колодок, сипкі й пилові вантажі, хлориди, що використовують для посипання доріг взимку, забруднюють придорожні смуги та водні об'єкти. Автомобільний транспорт є основним джерелом забруднення повітря у великих містах.

Шкідливі речовини під час експлуатації автотранспорту потрапляють у повітря з вихлопними газами, випарами з паливних систем, а також під час заправлення автомобіля паливом. На ви-

киди оксидів вуглецю (вуглекислий газ і чадний газ) впливає також рельєф дороги та режим і швидкість руху автомобіля. Наприклад, якщо збільшувати швидкість авто і різко зменшувати її під час гальмування, то у вихлопних газах кількість оксидів вуглецю збільшується у вісім разів. Мінімальна кількість оксидів вуглецю виділяється при рівномірній швидкості автомобіля 60 км/год.

Вихлопні гази накопичуються у нижніх шарах атмосфери, тобто шкідливі речовини розміщуються в зоні дихання людини. Тому автомобільний транспорт варто віднести до категорії найнебезпечніших джерел забруднення повітря поблизу автомагістралей.

Забруднення поверхні землі транспортними і дорожніми викидами накопичується поступово залежно від кількості автотранспорту, що проїжджає через трасу, дорогу, магістраль, і зберігається дуже довго навіть після ліквідації дорожнього полотна (закриття дороги, траси, магістралі або повної ліквідації шляху та асфальтного покриття).

Різні хімічні елементи, особливо метали, що накопичуються у ґрунтах, засвоюють рослини, а вже через них по харчовому ланцюгу вони потрапляють в організм тварин і людини. Частина з них розчиняється і виноситься ґрунтовими водами, потім потрапляє в річки, водойми і вже через питну воду може потрапити в організм людини.

Сучасне виробництво вимагає залучення в господарський оборот величезних обсягів матеріальних, енергетичних та природних ресурсів. Щоб задовольнити потребу однієї людини у всьому необхідному, за рік добувають близько 20 т (за деякими даними до 45 т) різної сировини. При цьому в готову продукцію переходить 1–2 % (за більш оптимістичними оцінками, до 6 %) використаної сировини. Усе інше перетворюється на відходи, що утворюються на всіх проміжних стадіях виробництва. На відходи в результаті перетворюється і сам продукт, тому можна сказати, що в процесах виробництва та споживання не випускається нічого, окрім відходів. Точних даних про кількість відходів немає ні в світі, ні в жодній країні, однак наявні розрахункові показники свідчать про те, що маса відходів щорічно зростає і досягає вже критичної величини. За прогнозами, що містяться в документах Конференції ООН з НС та розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.), якщо темпи приросту обсягів твердих відходів зберігатимуться і надалі, то до 2025 р. їх суцільний обсяг збільшиться в 4–5 разів.

Виробництво як визначальна складова господарської діяльності суспільства реалізується через вплив людини на природне середовище з метою створення матеріальних і духовних благ, потрібних для її гармонійного існування та розвитку.

Під час виробничої діяльності частина речовини, енергії та інформації витрачається на створення цільового продукту, а інша у вигляді відходів потрапляє у НПС. Унаслідок виробничо-господарської діяльності, а також процесів споживання різноманітної продукції утворюється антропогенний кругообіг потоків речовини, енергії та інформації, що за своїм складом, швидкістю проходження процесів та впорядкованістю відрізняється від біологічного та геологічного, властивих природним екосистемам.

Незамкненість антропогенного речовинно-енергетичного циклу є причиною виникнення галузевих і регіональних еколого-економічних проблем, найбільш гострою з яких є проблема утворення, накопичення та використання відходів виробництва та споживання.

Вирішення цих проблем пов'язано з процесами розвитку «зеленої» економіки, що, звісно, зумовлює необхідність розгляду сутнісно-змістовної основи та вихідних принципів екологізації виробництва.

Екологізація виробництва формує матеріально-технічну та організаційно-управлінську основи екологічно збалансованого, сталого соціально-економічного розвитку суб'єктів господарювання різного ієрархічного рівня (передусім підприємств), національних господарських комплексів, а також регіонів (територій).

Під екологізацією виробництва розуміється також сукупність усіх видів господарської діяльності, що забезпечують зменшення негативної дії виробництва та запобігання порушенню екологічної рівноваги в природному середовищі.

Екологізація виробництва може здійснюватися за такими напрямками:

- природозберігальна раціоналізація господарської діяльності, спрямована на вдосконалення матеріального виробництва і невиробничої сфери;
- природоохоронна діяльність і екологічна орієнтація розміщення виробництва.

Своєю чергою, згідно з методологічним підходом, екологізація в загальному вигляді розуміється як об'єктивно зумовлений процес

перетворення усієї суспільної праці, спрямований на збереження і розвиток суспільно-економічних функцій природи.

При цьому на рівні промислового підприємства екологізація виробництва припускає:

- 1) екологізацію продукції, тобто розроблення таких її видів, під час використання яких завдається мінімальний збиток довкіллю;
- 2) екологізацію технології виробництва продукції, розроблення безвідходних і маловідходних технологій, ефективного очищувального устаткування, засобів автоматизації, вимірів і контролю;
- 3) розроблення варіантів отримання нової корисної продукції з побічних відходів галузі.

Екологізація виробництва розглядається також і з точки зору вирішення еколого-економічних суперечностей взаємодії суспільства і природи. Одним із напрямів вирішення цих суперечностей є кардинальне перетворення наявного технологічного способу виробництва через його екологізацію. Потрібний такий спосіб організації і розвитку виробничих процесів, коли за мінімальних витрат живої та матеріалізованої праці й мінімального збитку, що заподіюється природним зв'язкам, суспільство досягає максимального виходу високоякісної продукції та забезпечує максимальне збереження довкілля, екологічну рівновагу.

Останнім часом у промислово-розвинених країнах світу, відповідно до діючих у них систем природокористування, технологічних процесів та сучасних вимог у галузі охорони довкілля, дедалі ширше трапляється поняття «екологічність природокористування». Під екологічністю природокористування розуміють виробничі стосунки, які складаються у процесі взаємодії виробництва з довкіллям, спрямовані на підвищення рівня екологічного ефекту на одиницю виробленої споживної вартості.

Екологізація виробництва включає такі основні моменти:

- раціоналізацію природокористування на інтенсивній основі узгодженням економічних, організаційно-технологічних, соціальних і екологічних інтересів господарюючих суб'єктів;
- вирішення наявних і виникаючих суперечностей із позиції стратегічних потреб майбутніх поколінь;
- максимально можливе гарантування екологічної безпеки життєдіяльності населення і природних екосистем;
- істотне зниження впливу дестабілізуювальних чинників на стан довкілля через інноваційно-технологічну перебудову виробництва та споживання товарів і послуг;

– припускає створення високоефективного господарського (економічного) механізму природокористування для оптимального вирішення проблем екологічно сталого соціально-економічного розвитку сьогодні й в досяжному майбутньому.

Крім того, екологізація суспільного виробництва передбачає, зокрема:

– якісніше і кількісне використання інституціональних, фінансово-економічних, соціальних і правових принципів і інструментів раціоналізації природокористування ринкової орієнтації (екологічний аудит, екологізація системи оподаткування, екологічне страхування, «зелена» логістика та ін.);

– поглиблення еколого-економічних досліджень у системах «суспільство — природа», «економіка — екологія», «видобуток сировини — виробництво — споживання — утилізація» (наприклад, визначення цілковитих витрат у галузі природокористування, оцінювання економічного збитку від екодеструктивного рівня виробництва та ін.);

– екологічну орієнтацію участі громадськості у розв'язанні екологічних проблем.

Екологізація суспільного виробництва також повинна мати кількісну й якісну визначеність, виражатися цілісною системою натуральних і вартісних (еколого-економічних) показників. При цьому екологічність виробництва, природокористування розглядається як характеристика процесу екологізації господарської діяльності:

– екологічний ефект на одиницю вироблюваної споживної вартості;

– рівень екологічної безпеки виробництва;

– інтегральне екологічне навантаження на природо-ресурсний потенціал та ін.

У практичній діяльності реалізація принципів сталого, екологічно збалансованого природокористування, біосферосумісності виробничих процесів, а також вирішення завдань оптимізації ресурсно-матеріального, циклу «виробництво — споживання — утилізація» пов'язують з організацією безвідходного виробництва. У сучасному розумінні безвідходне виробництво означає розроблення та реалізацію комплексу заходів, які забезпечують мінімальні втрати природних ресурсів за максимальної економічної ефективності, тобто таку організацію виробничих процесів, за якої

обсяги забруднювальних речовин, що надходять у НПС, відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам і нормативам екологічної безпеки. Досягнення цілей безвідходного виробництва забезпечується через:

- організацію оборотних систем водоспоживання; організацію принципово нових виробничих процесів із виключенням чи скороченням технологічних стадій, на яких утворюється більшість відходів;

- використання відходів виробництва та споживання як вторинних матеріальних ресурсів;

- розроблення та створення територіально-виробничих комплексів із замкненою структурою матеріальних потоків сировини та відходів між елементами комплексу.

Як свідчить світовий досвід, значні резерви підвищення еколого-економічної ефективності виробництва можуть бути мобілізовані використанням концептуально нових методів управління, що базуються на інтегральній парадигмі «зеленої» логістики. У зв'язку із цим важливого значення набуває розроблення теоретико-методологічних та науково-методичних засад еколого-орієнтованого логістичного управління виробництвом у різних галузях економіки.

Так, основні концептуальні положення логістики знаходять конструктивне відображення у механізмах екологічного регулювання природокористування, формуючи тим самим нову екологоорієнтовану («зелену») логістику.

Екологоорієнтована («зелена») логістика передбачає інтеграцію різних функцій господарювання, пов'язаних із ресурсними потоками для досягнення цілей екологічно збалансованого, сталого розвитку.

Логістика через комплекс організаційно-економічних заходів дає змогу забезпечити вирішення завдань ресурсозбереження, що зумовило формування відповідного наукового напрямку у промисловій логістиці — логістики ресурсозбереження (реверсивної логістики). Західні вчені Д. Ламберт та Дж. Сток одні з перших запропонували розглядати реверсивну логістику як функцію логістики у поверненні продукції, ресурсозбереженні, рециклінгу, заміні матеріалів, поводженні з відходами, їх відновленні та повторному використанні.

У сучасному розумінні реверсивна логістика являє собою процес планування, реалізації та контролю продуктивних і витрато-

ефективних потоків сировини, незавершеного виробництва, готової продукції та пов'язаної з ними інформації від споживача до первинного джерела з метою відновлення цінності чи забезпечення відповідної утилізації.

Слід зазначити, що повернені ресурси можуть бути повторно продані у спеціальних торгових точках, повторно використані у виробництві, перероблені на іншу продукцію, захороненні тощо. Ефективна реалізація реверсивної логістики потребує розроблення відповідних гнучких схем контролю, збирання, транспортування повернених ресурсів і відповідного інформаційного забезпечення. При цьому зазначимо, що реверсивна логістика є також невід'ємним елементом логістичного управління, що реалізується у формі гарантійного та постгарантійного обслуговування.

Ідеї концепції реверсивної логістики втілені також у дослідженнях українських і зарубіжних учених, пов'язаних з управлінням відходами та рециклінгом у торинних матеріальних ресурсів. Значна кількість публікацій із цієї тематики зумовила формування нового напрямку наукових досліджень у логістиці, що отримав назву «логістика відходів». Для позначення логістичної діяльності з управління відходами також вживають терміни «логістика рециклінгу», «логістика утилізації» та «рециклювання», що за змістом не відрізняються від «логістики відходів».

Логістична система управління відходами охоплює всі стадії життєвого циклу (ЖЦ) відходів:

- їх виявлення, планування збирання та використання;
- збирання та підготовку до використання чи реалізації;
- забезпечення корисного використання та контроль за їх використанням.

На рівні окремого суб'єкта господарювання (промислового підприємства) управління відходами може здійснюватись створенням відповідної підсистеми (підрозділу). Створення макрологістичних систем управління відходами дає змогу ефективно розв'язати проблему нагромадження відходів виробництва та споживання, забезпечивши їх своєчасне збирання, транспортування, перероблення, повторне використання та екологічно безпечне розміщення в регіоні.

Дослідження змісту концепцій логістики ресурсозбереження, реверсивної логістики та логістики відходів дає змогу зробити

висновок про їх певний «функціональний» характер, тобто такий, що охоплює певний еколого-економічний аспект у галузі природо-користування та охорони НПС, а саме: управління відходами, раціональне використання та рециклінг ресурсів тощо.

Отже, формування екологічно орієнтованого логістичного управління промисловим виробництвом слід розглядати як певну форму управління промисловими системами з урахуванням їх екологічних параметрів (орієнтирів). Під екологічно орієнтованим логістичним управлінням (зокрема, промисловим виробництвом) пропонуємо розуміти управлінську діяльність, що передбачає врахування екологічних чинників на всіх етапах просторово-часового планування, організації, контролю й регулювання руху матеріальних, інформаційних і фінансових потоків від джерела їх виникнення до кінцевого споживача на основі концепції логістики.

Сучасні тенденції інтеграції та глобалізації сприяють активному розвитку підприємств, однак нерідко прагнення досягти успіху за будь-яку ціну шкідливо впливають на довкілля. Одним із можливих варіантів посилення взаємозв'язку економічного зростання з покращенням екологічної ситуації є так зване «озеленення економіки». Упровадження «зеленої» концепції передбачає застосування «зелених технологій», до яких зазвичай відносять інноваційні рішення у сфері відновлювальних джерел енергії, перероблення й вторинного використання матеріалів, контролю забруднення повітря, очищення стічних вод, енергозбереження, захисту НПС тощо.

Щоб відповідати вимогам часу і розвитку технологій, сучасна логістика також дотримується такої важливої вимоги, як «екологічність».

Дослідження зарубіжних і вітчизняних наукових джерел дали змогу виокремити тлумачення «зеленої логістики», на які найчастіше спираються науковці, що досліджують це питання, і зробити висновки щодо неоднозначності цих тлумачень.

Так, колумбійські вчені так характеризують це поняття: «Зелена логістика описує всі спроби виміряти й мінімізувати екологічні наслідки логістичної діяльності, використовуючи баланс між економічною й логістичною ефективністю і застосовуючи при цьому передові технології й оснащення».

Термін «зелена логістика», на думку П. Мерфі та його спів-авторів, «...виник на початку 90-х рр. ХХ ст. як новий метод у

логістиці, що скеровує стандартні логістичні вимоги до раціональності, ефективності й швидкості обробки та руху товару, та враховує заходи щодо охорони НПС».

Д. Роджерс та Р. Тіббен-Лембке трактують «зелену логістику» як «...сукупність дій, спрямованих на мінімізацію екологічних наслідків логістичної діяльності».

На офіційному сайті організації Green Logistics зазначається, що «в «зеленій логістиці» компанії приділяють більшу увагу зовнішнім витратам, пов'язаним зі зміною клімату, забрудненням повітря, води і ґрунту, прагнучи досягнути стійкого балансу між економікою, зовнішнім середовищем і суспільством».

Принципи «зеленої логістики» пропагує і Європейська логістична асоціація, яка щорічно проводить європейський рейтинг логістичних проєктів. Наприклад, у 2012 р. стартував ініційований проєкт Green Freight Europe (Зелений фрахт Європи) для вантажоперевізників і логістичних компаній задля розроблення єдиних підходів до визначення факторів шкідливих викидів, порівняння екологічних параметрів різних транспортних операторів тощо.

Німецький дослідник Г. Куметштайнер визначає «зелену логістику» як «...цілісне перетворення логістичних стратегій, процесів і систем на підприємствах і в корпоративних мережах задля створення екологічних і ресурсозаощадливих логістичних процесів, завдання яких полягає у зменшенні шкідливого впливу на НПС і зниженні використання невідновлювальних».

Дослідники Лі Яньбо та Лю Сунсянь «зелену логістику» визначають як «...новий напрям, що передбачає застосування прогресивних технологій логістики та сучасного обладнання задля мінімізації забруднень та підвищення ефективності використання логістичних ресурсів».

Дж. Родрігу визначає «зелену логістику» як «екологічно прийнятну та ефективну транспортну систему розподілу». У межах цієї концепції логістична діяльність зводиться лише до транспортної системи розподілу, що повинна здійснюватися на екологічних принципах.

Існує також думка, що «зелена логістика» має значний потенціал для здійснення екологічного контролю транспортних систем, процесів утилізації продукції, пакувальних матеріалів задля мінімізації забруднень, а також для реалізації процесів енерго- і ресурсозбереження.

Варті уваги підходи до визначень цього поняття і вітчизняних учених. Так, І. Смирнов розглядає «зелену логістику» з позиції

забезпечення екологічної безпеки окремої системи як для всього суспільства, так і для окремого споживача.

Учені М. Григорак та Ю. Варенко дають таке визначення «зеленої логістики»: «...це система заходів, що передбачає застосування енерго- і ресурсозберігаючих технологій логістики і сучасного обладнання у всіх ланках ланцюжка поставок задля мінімізації негативного впливу на НПС й підвищення загальної споживчої цінності продукції для споживачів».

Дослідниця Н. Чернописька трактує поняття «зелена логістика» так: «...це управління екологічним, економічним і соціальним впливом логістичної системи, що передбачає дії у таких ключових напрямках, як зменшення інтенсивності використання матеріалів, енергоінтенсивності, дисперсії токсичних субстанцій, збільшення рециклінгу ресурсів, максимізація використання відновлювальних джерел енергії, подовження терміну використання продукції, підвищення інтенсивності надання послуг».

Ю. Чортюк визначає «зелену логістику» як «підсистему управління потоками продукції від постачальника до кінцевого споживача з мінімальним рівнем екодеструктивного впливу на довкілля». Метою «екологічної» логістики на думку автора, є «...мінімізація шкідливого впливу господарської діяльності на довкілля на всіх етапах руху матеріального і пов'язаних із ним потоків». Отже, логістика, що ґрунтується на ресурсозберігаючих і екологічно безпечних процесах і технологіях, отримала назву «зелена логістика» («Green Logistics»). Польські вчені Z. Korzen і J. Kusztal запропонували екологічний напрям логістики називати екологістикою, що вказує на екологічну орієнтацію логістики, а також на таку її мету, як створення інтегрованої екологістичної системи. Тому екологістика є перспективним напрямом розвитку сучасного підприємства (рис. 10.1).

Сучасний стан економіки в Україні свідчить, що екологічна та соціальна галузі діяльності підприємств не є вагомими чинниками прийняття стратегічних рішень в управлінні виробничими системами. За таких умов забезпечення сталого, «зеленого» розвитку вітчизняної економіки та становлення України як конкурентоспроможного учасника економічних відносин є вкрай проблематичними.

Натомість у Польщі проблемами екологістики займаються порівняно давно. Дослідження у цьому напрямі пов'язані з відомими прізвищами польських логістів Z. Korzen, A. Korzeniowski, M. Skrzypek, B. Rzezczynski, J. Witkowski, A. Baraniecka, B. Rodawski, A. Skowronska, а також німецьким дослідником Н.-Ch. Pfohl та ін.

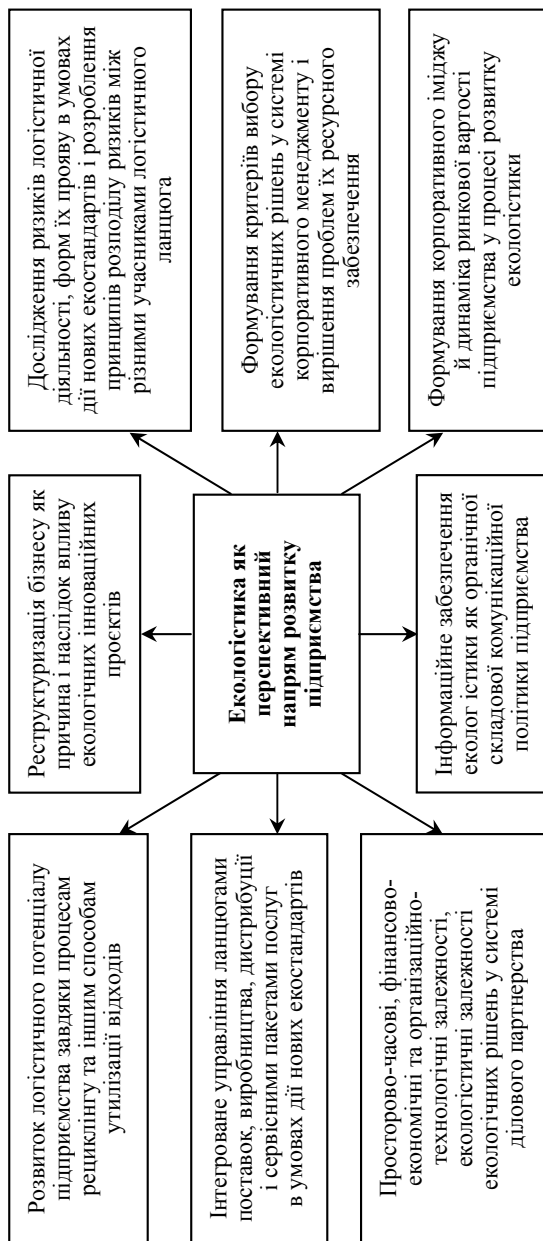


Рис. 10.1. Екологістика як перспективний напрям розвитку підприємства

Сучасний розвиток господарського механізму управління виробництвом в Україні повинен здійснюватися на інноваційних засадах застосуванням ринковоорієнтованих підходів до організації управлінської діяльності, визначальними ознаками яких є інтегрований підхід до оцінювання соціо-еколого-економічних результатів виробництва, а також забезпечення комплексної оптимізації ресурсопотоків у системі «формування ресурсів — виробництво — споживання — утилізація відходів», тобто принципів, методів та інструментів логістичного управління виробничими процесами.

Проте одне іншому зовсім не заважає: зменшення шкідливих впливів на довкілля найчастіше й передбачає економне використання усіх видів ресурсів — передусім, енергії, палива й матеріалів. Екологічно орієнтована (або «зелена») логістика має на меті, з одного боку, мінімізувати шкідливий вплив на довкілля логістичних процесів, а з іншого — скоротити або повністю виключити споживання невідновлювальних або цілком відновлювальних енергоресурсів.

При цьому під шкідливими впливами мають на увазі не лише викиди вуглеводню. Це також шум та вібрація, що створюють автомобільні, залізничні та авіаційні транспортні засоби, відходи паливно-мастильних матеріалів (ПММ), що потрапляють у ґрунт та воду, використана упаковка і браковані вироби, що потрібно утилізувати, і багато іншого — усе, що призводить до несприятливих змін умов проживання на планеті Земля.

Сучасна парадигма екологістики — новий науковий міждисциплінарний напрям в екології та економіці природокористування, спрямований на виявлення закономірностей раціонального екологічного управління рухом матеріальних, інформаційних і енергетичних потоків у системах природокористування. Концепція екологістики розглядається як ефективний мотивований підхід до управління ресурсними потоками не лише задля зменшення витрат, а й екодеструктивного впливу на компоненти природного середовища.

Екологістика передбачає інтеграцію різних функцій господарювання, пов'язаних ресурсними потоками, для досягнення цілей сталого та екологічно безпечного розвитку.

Досягнення мети екологоорієнтованого логістичного управління зумовлює необхідність вивчення та аналізу основних принципів логістичного управління у взаємозв'язку з принципами раціонального природокористування та охорони НПС (рис. 10.2).

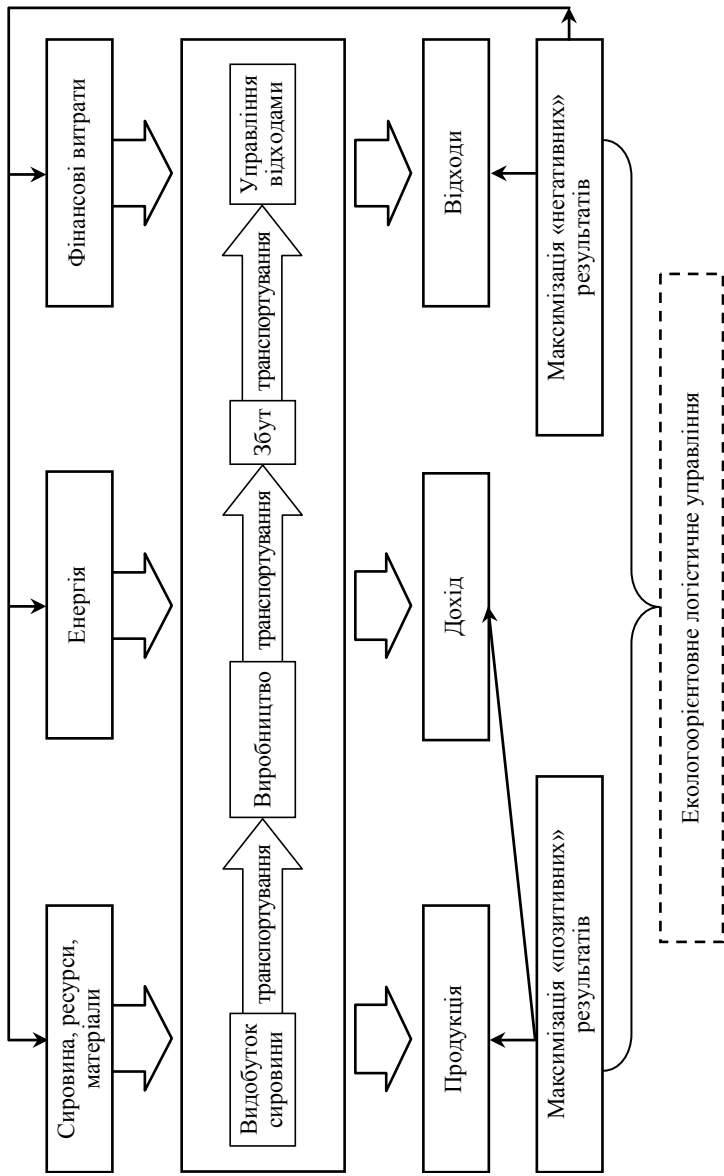


Рис. 10.2. Екологоорієнтоване логістичне управління

Концепція «зеленої логістики» пов'язана з екологічною шкодою (екологічним збитком), що завдає природі транспортно-логістична діяльність. Цей напрям зародився в США, ЄС, Японії, де до автодвигунів нині висуваються жорсткі екологічні вимоги, зокрема, в ЄС це екостандарти двигунів «EURO 0» — «EURO 6».

Деякі транспортно-логістичні компанії розробили спеціальні екологічні програми. Так, Schenker-BTL (Німеччина-Швеція) має програму «зеленої логістики», за якою визначають шкідливі компоненти від діяльності автомобілів (CO₂; CO; NO; SO₂ та тверді частинки) і підраховують їх вартість для кожного маршруту в глобальному вимірі.

З усієї кількості логістичних систем найбільшої шкоди НПС завдає транспортна логістика, зокрема, зношеність рухомого складу транспортних засобів, серед яких перше місце посідає автотранспорт.

10.1. Методи та засоби захисту компонентів навколишнього середовища від авіаційного шуму, електромагнітних випромінювань радіочастот

10.1.1. Оцінювання стану атмосфери в районі аеропорту за аналізом опадів

Під час вивчення питань, пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря, перенесенням, стійкістю забруднювальних речовин, важливе значення мають процеси видалення поллютантів з атмосфери, що впливає на рівень їх вмісту в приземному шарі. Цей процес характеризує здатність атмосфери до самоочищення.

Оскільки більшість забруднювальних речовин адсорбовані на твердих частинках або розчинені у краплинах води, то випадання опадів — важлива стадія виведення їх з атмосфери. Порівняно дешево та економічно вигідно оцінювати стан атмосфери на підставі аналізу атмосферних опадів.

Концентрація хімічних домішок в опадах зазвичай порівняно незначна, однак якщо порахувати всю кількість опадів за тривалий період (сезон, рік), виявиться, що з ними випала чимала кількість шкідливих речовин.

Випадання опадів (дощу чи снігу) — це виведення забруднювальних речовин з атмосфери.

Сніг значно довше контактує з атмосферним повітрям, ніж дощ, отже при його дослідженні ймовірність виявлення забруднювачів в

атмосфері вища. Тому використання снігового покриву як індикатора забруднення довкілля дає змогу значно підвищити ефективність контролю забруднення атмосфери, вод, ґрунтів у зонах впливу авіаційного транспорту.

Сніговий покрив забруднюється у два етапи:

- забруднення сніжинок під час їхнього утворення у хмарі й випадання на місцевість — так зване вологе випадання забруднювальних речовин зі снігом;
- забруднення снігу внаслідок сухого випадання забруднювальних речовин з атмосфери.

Під час вивчення снігу як індикатора забруднення атмосферного повітря слід враховувати, що з атмосферними опадами випадає лише 15–20 % хімічних елементів, більшість же їх осідає у формі сухих аерозолів.

Концентрація важких металів в опадах теплої й холодної пори року залежить від розташування джерел забруднення атмосфери й метеорологічних умов. Взимку, коли спостерігаються приземні температурні інверсії і, отже, ускладнений вертикальний обмін повітряних мас, промислові забруднення накопичуються у приземному шарі атмосфери, при цьому зростає концентрація забруднення в повітрі та опадах.

10.1.2. Розрахунок атмосферних викидів

Щоб оцінити хімічне забруднення атмосфери парами КРП, використовують два різні підходи:

- статистичний, що ґрунтується на гаусівській 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 (EPAUS), а також методик МАГАТЕ покладена статистична модель [50] 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, містять методики, що ґрунтуються на напівемпіричному підході.

Наявні методики нормування викидів не дають змоги розраховувати поля концентрації від пересувних і (або) нестационарних

джерел, а викиди хімічних речовин РКТ належать саме до цих типів джерел. Тому для оцінювання викидів хімічних речовин об'єктами космічної інфраструктури в нинішніх умовах використовують тимчасові методи, які поєднують у собі одночасно кілька підходів до оцінювання викидів. Для визначення концентрації парів КРП використовують розв'язок напівемпіричного рівняння турбулентної дифузії в повній формі:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + U_x \frac{\partial q}{\partial x} + U_y \frac{\partial q}{\partial y} + V \frac{\partial q}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} + F, \quad (10.1)$$

де U_x , U_y — компоненти швидкості вітру в системі координат з віссю x , спрямованій уздовж швидкості вітру; q — миттєва концентрація забруднювальної домішки; K_x , K_y , K_z — коефіцієнти дифузії в напрямках осей координат; F — функція джерел і стоків домішки; V — швидкість гравітаційного осідання домішки.

Щоб розв'язати рівняння (10.1), слід скористатися 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 й часі.

Елементарним розв'язком методу функцій джерел для тривимірного простору і крайової умови «відображення» ($\partial q / \partial z = 0$, якщо $z = 0$) є рівняння вигляду:

$$C(x, y, z, t) = \frac{Qs}{\sqrt{K_x K_y K_z [4p(t-t')]^3}},$$

де Q — потужність миттєвого джерела забруднення; t — час роботи джерела забруднення; t' — довільний момент часу;

$$S = \exp \left[-\frac{\left[x - U(t-t') \right]^2}{4K_x(t-t')} - \frac{y^2}{4K_y(t-t')} \right] \times \\ \times \left\{ \exp \left[-\frac{\left[z - H(t') \right]^2}{4K_z(t-t')} \right] + \exp \left[-\frac{\left[z^2 + H(t')^2 \right]}{4K_z(t-t')} \right] \right\},$$

де $H(t')$ — висота джерела викиду; U — швидкість вітру в системі координат із віссю X , спрямованою вздовж швидкості вітру.

Таким чином, основне завдання перенесення забруднювальних домішок в атмосфері можна сформулювати так: знаючи потужність миттєвого джерела забруднення Q у 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 розв'язати через послідовну реалізацію основної задачі (принцип суперпозиції):

- перебором (x', y', z') у просторовій області ΩS імітувати довільну форму джерела;
- перебором (x, y, z) у межах області ΩR виділити в просторі область розрахунку (робочу зону);
- завданням залежності $Q(x', y', z', t')$ відтворити довільний часовий режим роботи джерела викиду.

10.1.3. Метод розрахунку викидів маршевыми двигунами літаків

Простий метод розрахунку можна застосовувати в умовах, коли немає даних засобів об'єктивного контролю польотної інформації. Цей метод ґрунтується на використанні стандартного злітно-посадкового циклу.

Знаючи індекс емісії двигуна, обчислюють масу викидів цієї забруднювальної речовини. Зокрема, для повітряного судна з n двигунами при виконанні стандартного злітно-посадкового циклу масу викидів визначають за формулою (10.1):

$$M_j = n \sum_i EI_{ji} G_{pi} \tau_i, \text{ [г]}. \quad (10.1)$$

Масу викидів метану (CH_4) розраховують за формулою:

$$M_{\text{CH}_4} = 0,1 M_{C_n H_m}, \text{ [г]}.$$

Масу викидів діоксиду сірки (SO_2) обчислюють за формулою:

$$M_{\text{SO}_x} = 0,005 M_n, \text{ [г]},$$

де M_n — сумарна витрата палива за стандартний злітно-посадковий цикл.

Масу викидів твердих частинок (M_C) обчислюють за формулами (2.2) та (2.3) з урахуванням кількості двигунів літака.

Масу викидів забруднювальних речовин $C_n H_m$, CO , NO_x на ділянці польоту літака від злітно-посадкового циклу аеропорту

вильоту до злітно-посадкового циклу посадки визначають за формулою:

$$M_{jкр} = EI_{jкр} M_{п.кр}, \text{ [кг]},$$

де $EI_{jкр}$ — беруть для номінального режиму роботи двигуна; $M_{п.кр}$ — маса палива, витраченого в польоті літаком без урахування етапів злітно-посадкового циклу.

Масу палива визначають за формулою:

$$M_{п.кр} = nG_{п.кр} \tau_{кр} \approx G_{п.запр} - (G_{п.зпц} + G_{п.невик}), \text{ [кг]},$$

де n — кількість двигунів на літаку; $\tau_{кр}$ — час польоту за маршрутом на висоті понад 1000 м; $G_{п.запр}$ — маса заправленого в літак палива, кг; $G_{п.зпц}$ — сумарна витрата палива за злітно-посадковий цикл, кг; $G_{п.невик}$ — залишок палива, що не використовується протягом польоту, кг.

Час польоту визначають зі співвідношення:

$$\tau_{кр} = \tau_{розр} - \tau_{зпц}, \text{ [с]},$$

де $\tau_{розр}$ — тривалість польоту за розкладом, с; $\tau_{зпц}$ — сумарний час стандартного злітно-посадкового циклу, с.

ІСАО рекомендує приймати $\tau_{зпц} = 1974$ с.

Якщо даних щодо цього типу двигуна немає, то допускається використовувати дані авіадвигунів зі схожими параметрами робочого процесу (тяга, ступінь підвищення тиску й температура газів на виході з камери згоряння). Масу викидів щодо кожного виду забруднювальної речовини від цього типу літака визначають підсумовуванням значень мас забруднювальних речовин, що викидаються на етапах польоту для всіх двигунів, установлених на цьому типі літака.

10.1.4. Детальний метод розрахунку викидів маршевыми двигунами літаків

Детальний метод розрахунку орієнтований на отримання достовірніших результатів щодо викидів забруднювальних речовин на всіх етапах експлуатації двигунів літака. Цей метод передбачає використання характеристик двигуна і даних, отриманих від засобів об'єктивного контролю польоту.

Для i -го етапу фактичного злітно-посадкового циклу з використанням дросельних характеристик двигуна і формул приведення до стандартних атмосферних умов розраховують витрату палива за формулою:

$$G_{\text{пi}} = \frac{C_{\text{пiт.}i} R_i}{3600}, \text{ [кг/с]},$$

де фактичну питому витрату палива та фактичну тягу визначають за формулами:

$$G_{\text{пiт.}i} = C_{\text{пiт.пi}} \sqrt{\frac{T}{288}}, \text{ [кг/Н}\cdot\text{год]};$$

$$R_i = R_{\text{пi}} \frac{P}{101325}, \text{ [Н]}.$$

Далі визначають масу палива, витраченого за злітно-посадковий цикл:

$$M_{\text{п.зпц}} = n \sum_i G_{\text{п.}i} \tau_i, \text{ [кг]},$$

де τ_i — фактична тривалість i -го етапу злітно-посадкового циклу, с; n — кількість двигунів на літаку.

Іншим, точнішим джерелом даних по $G_{\text{п.}i}$ і τ_i є дані розшифрування засобів об'єктивного контролю польотної інформації.

Після визначення даних про $G_{\text{п.}i}$ і τ_i розраховують масу викидів забруднювальних речовин за злітно-посадковий цикл:

$$M_{j.\text{ззп}} = n \sum_i EI_j G_{\text{п.}i} \tau_i, \text{ [кг]}.$$

У цій формулі індекс емісії забруднювальних речовин EI_j потрібно брати з технічних або сертифікаційних даних двигуна і перераховувати на конкретні атмосферні умови.

Масу викидів твердих частинок M_C розраховують за допомогою формул (2.2) і (2.3) з урахуванням кількості двигунів і пропорційно часу реального злітно-посадкового циклу до стандартного, тривалість якого $\tau_{\text{зпц}} = 1974$ с. Якщо даних щодо даного двигуна немає, то допускається використовувати дані авіадвигунів зі схожими параметрами робочого процесу.

Масу викидів метану CH_4 і діоксиду сірки SO_2 розраховують аналогічно до простої методики, але при цьому величину витрати палива $M_{\text{п.}j}$ беруть за реальний злітно-посадковий цикл.

Масу викидів щодо кожного виду забруднювальної речовини від певного типу літака визначають як суму значень мас забруднювальних речовин щодо кожного двигуна за злітно-посадковий цикл по всіх двигунах, встановлених на конкретному літаку.

При проведенні операцій випробування двигуна масу викидів забруднювальних речовин одного двигуна визначають за формулою:

$$M_{\text{випр}} = \sum_i EI_j G_{\text{п}} \tau_i, \text{ [кг]},$$

де τ_i — фактичний час роботи двигуна на i -му режимі, с.

Дані стосовно EI_j і секундної витрати палива $G_{\text{п}}$ для конкретного режиму роботи двигуна обирають із близьких за значенням режимів роботи двигуна. Точнішим джерелом даних стосовно $G_{\text{п}}$ і τ_i є дані розшифрування засобів об'єктивного контролю.

У процесі всіх розрахунків маси викидів метану й діоксиду сірки величину витрати палива беруть за фактичний час роботи двигуна на i -му режимі.

Для конкретного режиму роботи двигуна з використанням його висотно-швидкісних характеристик витрату палива визначають за формулою:

$$G_{\text{п.кр}} = \frac{C_{\text{пит.кр}} R_{\text{кр}}}{3600}, \text{ [кг/с]}.$$

Після цього розраховують масу палива, витраченого літаком у польоті без урахування етапів злітно-посадкового циклу за формулою:

$$M_{\text{п.кр}} = n G_{\text{п.кр}} \tau_{\text{кр}}, \text{ [кг]}.$$

Точнішим джерелом даних стосовно $G_{\text{п.кр}}$ і $\tau_{\text{кр}}$ є також дані розшифрування засобів об'єктивного контролю польотної інформації.

Експериментальні дані показують, що співвідношення між основними забруднювальними речовинами, що викидаються з відпрацьованими газами літака, включно з оксидами азоту, є такими:

- оксиди азоту NO_x 84,0 %;
- оксид вуглецю CO 11,8 %;

- вуглеводні C_nH_m 4,0 %;
- тверді частинки (сажа) 0,2 %.

Ураховуючи те, що частинка оксидів азоту значно перевищує частинки інших викидів, під час польоту на висотах понад 1000 м допускається розраховувати тільки викиди NO_x . Значення індексу емісії NO_x на основній ділянці польоту розраховують за формулою:

$$(EI_{NO_x})_H = (EI_{NO_x})_0 \left(\frac{P_{кр.H}}{P_{кр.0}} \right)^{0,4} \exp(19(h_0 - h_H)), \text{ [г/кг]},$$

де h_0 — вологість сухого повітря, приймається $h_0 = 0,00634$ кг води/кг сухого повітря. Індекс « H » відповідає параметрам на висоті H польоту.

Тоді викиди оксидів азоту становитимуть:

$$M_{NO_x.кр} = EI_{NO_x.кр} M_{п.кр}, \text{ [кг]}.$$

Масу викидів SO_2 розраховують, виходячи з умови:

$$M_{SO_2} = 0,005 G_{п.кр}, \text{ [кг]}.$$

Точніше викиди діоксиду сірки оцінюють за кількістю витраченого палива і масовим вмістом сірки в паливі за формулою:

$$M_{SO_2} = 2 \sum_i M_{п.i} \bar{S}_i, \text{ [кг]},$$

де \bar{S}_i — відносний масовий вміст сірки у паливі i -ї марки (за паспортом).

Масу викидів $M_{кр}$ щодо кожного виду забруднювальної речовини від певного типу літака за політ за маршрутом визначають, підсумовуючи значення мас забруднювальних речовин по всіх двигунах, установлених на цьому літаку.

10.1.5. Розрахунок викидів шкідливих речовин допоміжними силовими установками

Масу викидів j -ї забруднювальної речовини за час t_i (хв) роботи допоміжної силової установки на i -му режимі визначають за формулою (10.2):

$$M_j^{ДСУ} = \frac{\sum_i M_{ji} \tau_i}{60}, \quad (10.2)$$

де M_{ji} — маса викидів j -ї забруднювальної речовини за 60 хв роботи допоміжної силової установки на i -му режимі [кг].

За формулою (10.2) визначають маси викидів CO , C_nH_m , NO_x . Якщо відомі емісійні характеристики допоміжної силової установки (індекси емісії і витрати палива на конкретних режимах роботи), то масу викидів забруднювальних речовин обчислюють за формулою (2.1).

Масу викидів оксидів сірки SO_2 і твердих частинок (сажі) визначають так само, як і для основного типу силової установки. При цьому використовують дані щодо витрати палива на конкретному режимі роботи допоміжної силової установки за контрольний час.

10.1.6. Розрахунок викидів шкідливих речовин під час наземних операцій в аеропортах

Наземні операції — це запуск двигунів, їх прогрівання, руління літака перед зльотом і після посадки.

Головною характеристикою цих операцій (з точки зору розрахунку емісії авіадвигунів) є те, що двигуни літака працюють на одному режимі — режимі малого газу (холостого ходу) — і за часом це найтриваліші операції в зоні аеропорту. Ця обставина спрощує розрахунок.

Визначення $M_{i,\text{наз}}$ (маси шкідливих інгредієнтів, які утворюються внаслідок викиду авіадвигунами в зоні аеропорту) здійснюють за формулою:

$$M_{i,\text{наз}} = K_{i,\text{наз}} G_{\text{п.наз}}, [\text{кг}],$$

де $K_{i,\text{наз}}$ — коефіцієнт викиду i -го інгредієнта під час наземних операцій, кг інгредієнта/кг пального; $G_{\text{п.наз}}$ — маса палива, витраченого двигуном літака під час наземних операцій злітно-посадкового циклу, кг.

Масу палива, витраченого під час наземних операцій, визначають за формулою:

$$G_{\text{п.н}} = G_{\text{пит.м.г}} R_{\text{м.г}} T_{\text{м.г}}, [\text{кг}],$$

де $G_{\text{пит.м.г}}$ — питома витрата палива під час роботи двигуна на режимі малого газу (наводиться у формулярі двигуна як одна з його важливих технічних характеристик), кг/Н · год; $R_{\text{м.г}} = R_0 \bar{R}$ — тяга двигуна на режимі малого газу (наводиться у формулярі двигуна, як його технічна характеристика), Н; $T_{\text{м.г}}$ — напрацювання двигуна на режимі малого газу за злітно-посадковий цикл, год.

Напрацювання двигуна на режимі малого газу визначають за формулою:

$$T_{\text{м.г}} = t_{\text{м.г}} N n, [\text{год}],$$

де $t_{\text{м.г}}$ — напрацювання в годинах двигуна на режимі малого газу за один злітно-посадковий цикл; N — річна кількість зльотів-посадок усіх літаків даного типу в аеропорту; n — кількість двигунів на даному типі літаків.

10.2. Групи природоохоронних заходів

Розвиток транспортної інфраструктури, а також збільшення інтенсивності руху транспорту призводить до істотного забруднення НПС.

Реалізація екологічної безпеки базується на системному підході до аналізу та прогнозування змін і наслідків, які можуть виникнути в природних екосистемах та біосфері в цілому під впливом промислової і транспортної інфраструктури.

Політика екологічної безпеки реалізується проведенням комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на підвищення екологічних характеристик рухомого складу та інфраструктури транспорту. Ці заходи по напрямках діяльності підрозділяються на чотири групи: організаційно-правові, архітектурно-планувальні, конструкторсько-технічні та експлуатаційні.

Організаційно-правові заходи включають формування нового еколого-правового світогляду, ефективну реалізацію державної екологічної політики, створення сучасного екологічного законодавства та нормативно-правової бази екологічної безпеки, а також заходи державного, адміністративного і громадського контролю за виконанням функцій з охорони природи. Вони спрямовані на розроблення і виконання механізмів екологічної політики, природоохоронного законодавства на транспорті, екологічних стандартів, норм, нормативів та вимог до транспортної техніки, паливно-мастильних матеріалів, обладнання, стану транспортних комунікацій тощо.

Архітектурно-планувальні заходи забезпечують удосконалення планування всіх функціональних зон міста (промислової, селітебної, транспортної, санітарно-захисної, зони відпочинку тощо) з урахуванням інфраструктури транспорту та дорожнього руху, розроблення рішень щодо раціонального землекористування і

забудови територій, збереження природних ландшафтів, озеленення та благоустрою.

Конструкторсько-технічні заходи дають змогу запровадити сучасні інженерні, санітарно-технічні й технологічні засоби захисту навколишнього середовища від шкідливих впливів на підприємствах та об'єктах транспорту, технічні новинки в конструкції рухомого складу.

Експлуатаційні заходи здійснюються в процесі експлуатації транспортних засобів, спрямовані на підтримання їх стану на рівні заданих екологічних нормативів за рахунок технічного контролю транспортного засобу і високоякісного обслуговування.

Перераховані групи заходів реалізуються незалежно один від одного і сприяють досягненню певних результатів. Але комплексне їх застосування забезпечить максимальний ефект.

10.2.1. Заходи зі зниження негативного екологічного впливу при проєктуванні та експлуатації транспортного комплексу

Вирішити проблеми підвищення екологічної безпеки на транспорті можна застосувавши багато технічних заходів. Серед них виокремлюють заходи на етапі експлуатації транспортних комплексів та заходи на етапі проєктування і будівництва об'єктів транспорту. Своєю чергою серед важливих заходів на етапі експлуатації можна назвати використання альтернативних палив, заходи із захисту поверхневих та ґрунтових вод, специфічні заходи при застосуванні протижеледних солей та гербіцидів тощо.

10.2.2. Використання альтернативних видів палива та енергії

Паливо використовують як у двигунах рухомого складу, так і для забезпечення потреб стаціонарних об'єктів транспортного комплексу.

Традиційні моторні види палива — це продукти переробки нафти з різними домішками для надання цьому паливу певних характеристик.

Альтернативне паливо — це всі види палива, які або зовсім не містять похідних нафти, або лише частково містять продукти її переробки. На сьогодні всі альтернативні палива умовно поділяють на чотири групи:

- видобувне та супутнє газоподібне паливо;
- синтезоване та гідролізне паливо;
- паливо з відновлювальних ресурсів;
- нафтове паливо з домішками.

Видобувне та супутнє газоподібне паливо. До цих видів палива відносять стиснений природний газ (СПГ) і зріджений нафтовий газ (ЗНГ).

Стиснений природний газ. Залежно від родовища походження природний газ на 82–99 % складається з метану CH_4 . За нормальних температур СПГ при стисненні навіть до досить великих тисків у зріджений стан не переходить. Він зріджується при температурах нижче — $161,6\text{ }^\circ\text{C}$, тому для зрідження потрібно використовувати спеціальні технології. Стиснений природний газ переважно використовують на автотранспорті стисненим до 20 МПа у балонах.

Переваги СПГ:

- завдяки молекулярному складу метану (молекула містить один атом вуглецю та чотири молекули водню) при його згорянні утворюється мало вуглекислого газу та більше водяної пари (утворення CO_2 на 1 кг спаленого СПГ на 25 % менше ніж на 1 кг спаленого бензину);
- через хорошу змішуваність газу з повітрям перед спалюванням у відпрацьованих газах дуже низький рівень вмісту CO ;
- низький рівень вмісту твердих частинок у відпрацьованих газах;
- можливість спалювати газ у двигуні при високому коефіцієнті надлишку повітря (до 2), що знижує температуру в камері згоряння і тому суттєво знижує викиди NO_x .

Недоліки СПГ:

- на стиснення газу витрачається велика кількість енергії;
- теплотворна здатність метану за масою нижча за теплотворну здатність бензину на 10–15 %;
- за різних причин при переобладнанні бензинового двигуна під спалювання СПГ його потужність знижується на 15–20 %;
- викиди метану в атмосферу сприяють парниковому ефекту, оскільки метан є парниковим газом.

Зріджений нафтовий газ. Це суміш легких вуглеводнів, переважно пропану та бутану. Цей газ видобувають на газокон-

денсатних родовищах та отримують під час видобутку та перегонки нафти як супутній продукт. Він відносно легко зріджується за нормальної температури та тиску 1,6 МПа. На борту автомобіля його зберігають у балонах під тиском 1,7 МПа. За теплотворною здатністю за масою ЗНГ поступається бензину лише на 3–4 % і при переведенні бензинового двигуна на спалювання ЗНГ його потужність суттєво не знижується. Переваги та недоліки ЗНГ практично такі самі як і СПГ.

У цілому застосування СПГ та ЗНГ як автомобільного моторного палива дає змогу істотно знизити токсичність викидів: оксиду вуглецю (CO) у 3–4 рази; оксидів азоту (NO_x) у 1,2–2,0 рази; вуглеводнів (СХНУ) у 1,2–1,4 рази. При роботі дизельного двигуна на СПГ та ЗНГ димність у режимі прискорення зменшується у 2–4 рази, шум знижується на 8–10 дБА.

Разом з тим у газобалонних вантажівок порівняно з бензиновими споряджена маса підвищується на 400–600 кг, відповідно знижується їх вантажоємність, а запас ходу скорочується майже удвічі.

Синтезоване та гідролізне паливо. До цих видів палива відносять водень, ацетилен, азотовмісні палива.

Водень. Отримують водень кількома шляхами: при переробці природного газу і нафти, електролізом води, а також газифікацією вугілля під тиском. На сьогодні є три способи зберігання водню: у балонах під високим тиском, у криогенних баках (за низьких температур) та у хімічно зв'язаному стані. Усі відомі методи як отримання, так і зберігання водню є проблемними і дорогими.

Переваги водневого палива:

- не є токсичним, тому при вибоках не забруднює навколишнє середовище;
- продуктом згоряння є нетоксична водяна пара, єдиним токсичним продуктом можуть бути оксиди азоту (в незначних кількостях можуть бути присутні CO та C_xH_y), проте вони є продуктами згоряння олів, що потрапляють у камеру згоряння;
- робота двигуна можлива при дуже високих коефіцієнтах надлишку повітря, аж до 10, що дає змогу знижувати температуру в камері згоряння і суттєво знижувати викиди NO_x.

Недоліки водневого палива:

- отримання водню є дуже енергоємним і коштовним процесом;

- зберігання є складним та небезпечним процесом;
- потужність двигуна, що працює на водні, на 20–30 % нижча порівняно з двигуном, що працює на бензині (причиною є мале наповнення циліндра паливом через малу густину водню);
- через велику швидкість горіння водню двигун працює жорстко і схильний до виникнення детонаційних явищ.

Водень має дуже малу густину. Тому при зберіганні у стисненому стані в балонах його вміст є невеликим. Навіть при стисканні водню до 40 МПа маса самого водню становить до 1,3 % маси балона. Наприклад, для того, щоб розмістити на борту середнього легкового автомобіля 10 кг водню, якого вистачить на 400–500 км, потрібно балонів загальною масою 1200 кг. Крім того, зберігання на борту автомобіля балонів під великим тиском є вибухонебезпечним.

Зберігання водню в криогенних баках (у рідкому стані за низьких температур) викликає багато складнощів. Температура його зрідження за нормального тиску становить близько мінус 250 °С. Щоб досягнути таких низьких температур, потрібно багато енергії. Підтримувати такі температури протягом експлуатації неможливо, тому водень у баках починає випаровуватися і тиск зростає. У періоди, коли водень із криогенних баків не використовується, щоб запобігти значному підвищенню тиску всередині баків, його просто скидають в атмосферу. Це призводить до значних непродуктивних втрат. На сьогодні навіть найкращі зразки криогенних баків із хорошою герметизацією та теплоізоляцією (баки з подвійними стінками й ізоляцією між ними) втрачають майже 1 % водню на добу.

Зберігати водень у зв'язаному стані також доволі складно. Для цього використовують властивості деяких металогідридів поглинати водень за низьких температур та виділяти його за високих температур. Наприклад, магнієві гідриди можуть поглинути до 8 % водню за масою, проте для виділення водню вони потребують нагрівання до 300 °С. Залізотитанові гідриди виділяють водень при температурі близько 7 °С, проте вони здатні поглинати лише до 2 % водню за масою і тому повинні мати велику масу.

Ацетилен. Питання використання ацетилену як моторного палива на сьогодні ще вивчається. C_2H_2 — це газ, який виробляють із нафтової сировини і який має досить високі енергетичні показники.

Перевагою ацетилену є низькі викиди CO та C_xH_y . Проведені дослідження показали, що в режимі максимальної потужності викиди CO традиційного двигуна внутрішнього згорання, що працює на ацетилені у 2...2,5 разу менші, а викиди C_xH_y у 3,5–4,5 разу менші, ніж при роботі на бензині. Проте викиди NO_x сягають того самого рівня, що при роботі на бензині. Головним недоліком ацетилену є його вибухонебезпечність.

Паливо з відновлювальних ресурсів. До них належать спиртові палива (метанол та етанол), а також олії.

Метанол має хімічну формулу CH_3OH . Його отримують шляхом перероблення вугілля, природного газу, вапняку, побутових відходів, відходів лісового господарства. Метанол має високе октанове число, що дає змогу досягати більших ступенів стиснення в циліндрах двигунів. Тому потужність двигунів, що живляться метанолом, на 10–15 % вища, ніж двигунів, що живляться бензином.

Метанол має високу теплоту випаровування (приблизно у 3,6 разу вищу ніж бензин) — вона становить 1160 кДж/кг (для порівняння теплота випаровування бензину — 318 кДж/кг). Це спричиняє труднощі при запуску двигуна за низьких температур навколишнього середовища. За температур $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче двигун запустити практично неможливо. Тому в двигунах потрібно встановлювати спеціальні підігрівачі палива перед його подаванням у циліндри двигуна або додавати до палива спеціальні рідини, що легко випаровуються, такі як диметиловий ефір, зріджений газ, ізопірен, бутан тощо.

Переваги використання метанолу замість традиційного палива:

- знижується вміст NO_x у відпрацьованих газах через більш низьку температуру в камері згорання;
- уміст C_xH_y у відпрацьованих газах становить лише 25–30 % від аналогічного вмісту при спалюванні бензину;
- уміст канцерогенних поліциклічних вуглеводнів у відпрацьованих газах значно менший, ніж при спалюванні бензинів;
- у відпрацьованих газах немає сполук сірки та сажі.

Недоліки використання метанолу як автомобільного палива:

- пари метанолу більш шкідливі, ніж пари бензинів;
- метанол агресивний щодо гуми і деяких синтетичних матеріалів, що використовують в автомобілебудуванні;
- метанол сприяє більш швидкому зношуванню деяких деталей двигуна;

– у відпрацьованих газах уміст альдегідів приблизно удвічі вищий, ніж при спалюванні бензинів.

Кількість викидів СО приблизно така сама, що й при роботі автомобільних двигунів на традиційних видах палива.

Етанол має хімічну формулу C_2H_5OH . Його отримують із рослинної сировини — цукрової тростини, кукурудзи, пшениці тощо. Властивості цього палива близькі до метанолу, проте теплота випаровування його нижча — 1000 кДж/кг. Тому пускові характеристики двигунів, що працюють на етанолі, кращі. Для автомобільних двигунів використовують або чистий етанол, або його суміш із бензином.

Переваги та недоліки роботи автомобільних двигунів на етанолі практично такі самі, як і при роботі на метанолі. Використання етанолу дає змогу зменшити викиди сполук сірки, сажі, високомолекулярних вуглеводнів тощо. Одним із головних недоліків (як і для метанолу) є підвищений вміст альдегідів у відпрацьованих газах.

При використанні спиртів як моторних палив, окрім традиційних речовин, які піддаються нормуванню у відпрацьованих газах (CO , NO_x , C_xH_y), потрібно нормувати також уміст альдегідів. Основні альдегіди, що наявні у відпрацьованих газах: сильний подразник ацетальдегід CH_3CHO та алерген, а також мутаген і канцероген формальдегід $HCHO$.

Використання етанолу в дизельних двигунах пов'язано з певними технічними проблемами і не дає відчутних екологічних переваг. Етанол має вищу, ніж дизельне пальне, температуру самозапалювання, приблизно на 100 °С, та у шість разів нижче цетанове число. Внаслідок цього неможливо використовувати етанол у чистому вигляді в традиційних дизельних двигунах, оскільки в їх циліндрах етанол від стискання не самозапалюється. Для вирішення цієї проблеми у двигунах створюють подвійну паливну систему: для етанолу та для дизпалива. При цьому дизпаливо впорскують у циліндри поряд з етанолом і використовують для запалювання суміші. Токсичність відпрацьованих газів при використанні етанолу практично така сама, як і при використанні дизельного палива.

Олії, що використовують як моторне паливо, це ріпакова, соянишникова, кукурудзяна, соєва тощо.

Ріпакову олію отримують із ріпака пресуванням. У такий спосіб на олію перетворюється 40 % від маси сировини. Застосовуючи спеціальні методи більш глибокої екстракції, можна отримати до 70 % виходу олії з сировини. Олію використовують як мастило, а також як домішку до дизельного палива або переробляють її на метилефір, що використовується як паливо в чистому вигляді для дизельних двигунів. При використанні як мастила ріпакова олія своїми змащувальними властивостями не поступається нафтовим мастилам, а за антикорозійними та антизношувальними властивостями перевищує їх.

Енергетичні характеристики дизельних двигунів, що працюють на суміші ріпакової олії з дизпаливом та на чистому дизпаливі, майже однакові. Мало відрізняються також їх екологічні показники. При роботі двигуна на середніх режимах токсичність викидів практично однакова. При роботі двигуна з підвищеними навантаженнями трохи зростає концентрація NO_x у відпрацьованих газах та їх димність.

Під час роботи дизельного двигуна на ріпаковому метилефірі, порівняно з роботою на дизельному паливі, збільшується витрата палива та концентрація NO_x у відпрацьованих газах, при цьому суттєво зменшуються викиди сполук сірки (до 70 разів). Концентрація решти токсичних речовин майже не відрізняється.

Нафтове паливо з домішками. Додавання до традиційних видів палива різних домішок дає змогу знизити токсичні викиди автомобілем без внесення конструктивних чи організаційних змін у роботу двигуна. Як такі домішки сьогодні розглядають водень, спирти, воду тощо.

Водень. Його можна додавати як до бензинів, так і до дизельного палива. При цьому експерименти показують, що додавання 20 % водню за масою до бензину знижує викиди CO приблизно у чотири рази, NO_x у вісім разів, C_xH_y удвічі. Додавання 10 % водню до дизельного палива дає змогу на 30 % скоротити його витрату, що своєю чергою зменшує токсичні викиди.

Спирти. До традиційних видів моторного палива як домішки додають етанол та метанол, розглянуті раніше. Для сучасних бензинових двигунів оптимальним вважається додавання 10–15 % спиртів до бензину.

Одним з головних недоліків такого палива є висока розчинність спиртів у воді. Тому потрапляння у паливні ємності води призводить до розчинення у ній спиртів і подальшого розшарування спиртоводяної суміші та бензину, оскільки вода та бензин мають різну густину. Розшарування залежить від вмісту спирту в бензині і кількості води, що потрапила у ємність, та температури бензину. Що вища температура, то інтенсивніше проходять процеси розшарування. Для зменшення процесів розшарування до бензину додають різні стабілізуючі домішки: ізопропанол, бутанол, гексанол тощо, які підвищують температуру початку процесу розшарування.

Етанол більш придатний як паливна домішка, ніж метанол. При цьому суміш етанолу й бензину часто називають *газохол*. Він покращує розчинність води в бензині і тим самим зменшує розшарування. Крім того, етанол менш агресивний до матеріалів, які застосовують у автомобілебудуванні.

Вода. Її подають у циліндри двигуна, попередньо розпилюючи повітряним потоком у впускному трубопроводі. Подати воду в циліндри також можна у вигляді водопаливної емульсії. Дослідження показують, що додавання води має як позитивні, так і негативні результати для роботи двигуна.

Переваги додавання води до палива:

– вода забирає частину теплової енергії на випаровування, зменшує температуру в камері згоряння і, як результат, зменшує викиди NO_x ;

– висока температура в камері згоряння примушує крапельки води миттєво випаровуватися у вигляді маленького вибуху, що сприяє кращому розпилюванню палива в циліндрі, підвищенню повноти згоряння і, як результат, зменшенню викидів CO ;

– вода підвищує стійкість суміші до детонації, в результаті чого збільшується ступінь стискання у циліндрі і підвищується потужність двигуна або ж використовуються бензини з нижчим октановим числом при збереженні потужності.

Недоліки додавання води до палива:

– впорскування води призводить до пришвидшення зношування гільз у двигуні в середньому у півтора рази;

– збільшуються викиди C_xH_y , що пояснюється тим, що вода зменшує температуру пристінкового шару в циліндрі, де погіршується горіння вуглеводнів.

10.3. Заходи щодо зниження впливу на навколишнє природне середовище пересувних та стаціонарних джерел забруднення на транспорті

Закон України «Про охорону атмосферного повітря» виділяє пересувні джерела викидів в окрему групу і потребує розроблення комплексних заходів щодо усунення їх шкідливих впливів.

Від пересувних джерел в атмосферу потрапляє майже 76 % шкідливих речовин від усіх викидів, а від стаціонарних джерел — близько 24 %.

Рівень токсичних викидів рухомого складу транспорту зростає значно швидше, ніж рівень його фізичного зносу і старіння. Наприклад, для автомобілів лише в перші три роки експлуатації можна підтримувати рівень токсичних викидів, гарантований підприємством-виробником. У процесі експлуатації поточні несправності й порушення регулювань призводять до погіршення показників токсичності та паливної економічності. Незадовільні дорожні й кліматичні умови, низька якість ПММ призводять до пришвидшеного зносу вузлів і агрегатів рухомого складу і збільшення викидів. Недостатньо якісне технічне обслуговування і ремонт, недостатня кількість сучасного обладнання та кваліфікованого персоналу не забезпечують повною мірою відновлення працездатності рухомого складу транспорту.

У карбюраторних автомобілях розлади в різних системах можуть підвищувати токсичність викидів:

- у системі живлення двигуна — на 30–40 %;
- у системі запалювання — на 25–30 %;
- у механічній частині двигуна — на 20–25 %;
- у трансмісії і ходовій частині — на 15 %.

Найбільший рівень зростання викидів оксиду вуглецю спричиняє порушення регулювання в системі живлення. Норми стандарту можуть бути перевищені на 70 % і більше.

У дизельних двигунах практично будь-яка несправність системи, що подає паливо, впливає на його витрату і димність двигуна. Наприклад, збільшення циклової подачі понад номінальну на 25 %

підвищує димність відпрацьованих газів на 40 %. У результаті природного зносу деталей паливної апаратури витрата палива до моменту вичерпання робочого ресурсу зростає на 8–10 %, димність двигуна — на 20–30 %.

Для підтримки екологічних параметрів транспортних засобів до експлуатації на допустимому рівні потрібно періодично контролювати технічний стан транспортних засобів шляхом діагностування. Діагностичне обладнання автомобільного транспорту для контролю технічного стану та регулювання автомобілів включає діагностичні стенди для вантажних автомобілів і автобусів, стенди обкатки і випробування двигунів, стенди для перевірки форсунок, вимірювальні прилади для контролю електрообладнання та ін.

Контроль токсичності транспортного засобу проводиться на підприємствах транспорту у процесі технічного обслуговування. Проте транспортні підприємства не повною мірою забезпечені апаратурою контролю токсичності. Для легкових автомобілів у містах слід організувати пости екологічного експрес-контролю та експрес-сервісу. Мають діяти пересувні лабораторії, що перевіряють якість палива на автозаправних станціях. У локомотивних депо слід організувати пункти екологічного контролю відпрацьованих газів дизелів на димність, вміст оксидів вуглецю та азоту.

Важливими є заходи зі зниження викидів від стаціонарних джерел. Серед них виокремлюють:

- упровадження захисних пристроїв, очищувальних установок і засобів контролю на експлуатаційних і ремонтних підприємствах транспорту;
- розосередження екологічно небезпечних виробництв по території підприємства;
- ліквідацію, якщо це можливо, джерел забруднення та ін.

У процесі експлуатації транспортних засобів слід проводити роботи зі знепилювання перевантажувальних комплексів та доріг. Найчастіше знепилювати слід дороги з гравійним, щебеневим та ґрунтовим покриттям, на яких наявний товстий шар пилу.

Унаслідок знепилювання зв'язуються продукти зношування матеріалу покриттів шляхопроводів і зменшується концентрація пилу. Цього досягають:

- механічним видаленням пилу (очищаючи покриття механічними щітками);

- змиванням;
- всмоктуванням вакуумними пристроями;
- поверхневим обробленням або просоченням покриття зв'язуючими матеріалами і хімічними реагентами.

Для автомобільних доріг і аеродромів ефективним способом знепилювання є нанесення на покриття органічних в'язучих матеріалів — в'язких і рідких бітумів, дьогтю, смол, нафти тощо.

Зменшити викиди забруднювальних речовин в атмосферу від стаціонарних джерел залізничного транспорту можна в результаті:

- будівництва нових і реконструкції наявних котельень;
- переведення котельень на більш екологічно чистий вид палива (природний газ, біогаз тощо);
- підвищення ефективності спалювання палива;
- впровадження електроопалення, ліквідації малозадіяних вугільних котельень, реконструкції наявного та впровадження нового пілогазовловлювального обладнання (наприклад, циклонів).

Зменшити викиди забруднювальних речовин від рухомого складу залізничного транспорту в результаті проведення організаційно-технічних заходів з економії дизельного палива, придбання сучасних тепловозів із кращими екологічними характеристиками.

Важливим аспектом підвищення екологічної безпеки транспортних процесів є заходи з охорони ґрунтів. Для розроблення заходів із захисту ґрунтово-земельного покриву в зонах розташування транспортних підприємств слід контролювати його стан, відбираючи ґрунтові проби. Так, у районах аеропортів для перевірки якості ґрунту беруть проби у кутках льотного поля і в центрі, поряд зі злітно-посадковою смугою. Наявність у пробах ґрунту хлороорганічних пестицидів визначають методом газорідинної хроматографії, зміст металів — методом емісійного спектрального аналізу тощо.

Для попередження забруднення ґрунтів заборонено закопувати в землю відходи виробництва, розпилювати отрутохімікати, зливати в ґрунт залишки кислот, електроліту, нафтопродуктів та інших агресивних речовин. Ці речовини слід знешкоджувати відповідно до вимог санітарних норм. Відпрацьовані нафтопродукти потрібно зливати у спеціальні ємності. Мити й дезактивувати спеціалізований рухомий склад слід тільки на обладнаних майданчиках.

Щоб захистити ґрунти у смугах відведення автомобільних доріг, потрібно насаджувати лісосмуги і проводити рекультивацию земель, підсипаючи родючий шар ґрунту.

Висаджені дерева і чагарник уздовж доріг затримують сніг, сприяють зниженню транспортного шуму і забрудненню атмосферного повітря на придорожніх територіях, підвищують естетичну привабливість ландшафтів.

10.3.1. Заходи щодо зниження шуму на транспорті

Шумове забруднення в містах переважно спричинює рухомий склад транспорту. На головних магістралях великих міст рівень шуму перевищує 90 дБА і має тенденцію до посилення щорічно на 0,5 дБА. Це є однією з найбільших небезпек для навколишнього середовища в районах великих транспортних магістралей.

Основними заходами, що допомагають зменшити рівень шуму автотранспорту, є:

- поліпшення конструкції доріг та їх трасування;
- регулювання транспортних потоків;
- застосування шумових екранів і бар'єрів;
- перегляд загальних концепцій землекористування поблизу основних транспортних магістралей.

Одним із найбільш очевидних способів зменшення шуму автомобільного транспорту, здавалося б, є зниження інтенсивності руху в результаті розподілення транспортного потоку. Проте його розподілення, наприклад, навпіл, у загальному випадку приводить до зниження рівня транспортного шуму лише на 3 дБА. Це пояснюється тим, що зменшення інтенсивності руху зазвичай пов'язане зі зростанням швидкості руху, тому очікуваного значного результату від зниження інтенсивності руху не досягається.

На зниження шуму автомобільного транспорту також спрямовано обмеження кількості важких вантажних автомобілів у транспортному потоці. Здебільшого йдеться про заборону на в'їзд вантажних автомобілів у певний район або на в'їзд до міста всіх автомобілів вище певної вантажопідйомності, а також обмежень в'їзду в певні моменти часу, зазвичай у нічні години, суботні та недільні дні.

Вантажні автомобілі, що відповідають європейським вимогам із рівня шуму, маркують відповідними літерами, що розташовані на табличці, яку кріплять на бампері або кабіні:

L — тягач з низьким рівнем шуму. Її наявність на автомобілі, наприклад, є обов'язковою при проїзді по території Австрії;

G — тягач із низьким рівнем шуму і потрібен, наприклад, при проїзді через зони Німеччини, що особливо охороняються;

U — «Umwelt» («Природа»), в англійському тлумаченні «Green Loggy» («Зелена вантажівка») — встановлюється на автомобілях, які відповідають вимогам токсичності Євро I та нормам шуму 78–80 дБА;

S — «Supergun» («Суперзелений»), або в англійському варіанті «Green and Safe Loggy» («Зелена і безпечна вантажівка»). Автомобіль із таким знаком повинен відповідати нормам токсичності Євро II і нормам шуму 78–80 дБА.

На високошвидкісних дорогах зменшення середньої швидкості руху автомобіля удвічі може привести до зниження еквівалентного рівня шуму на 5–6 дБА. Але на практиці важко досягти зниження швидкості автомобілів.

Зменшення швидкості можна досягти внаслідок:

- влаштування технологічних підвищень на дорожньому покритті;

- влаштування поперечних смуг на дорозі, які дають можливість водіям відчути швидкість автомобіля;

- звуження дороги і викривлення траси дороги.

Поліпшення акустичних показників автомобілів досягають внаслідок скорочення шуму від первинних джерел (двигун, системи впускання повітря і випускання відпрацьованих газів, агрегати трансмісії, шини та ін.) і пасивних елементів (кузов, його внутрішнє обладнання, ходова частина, а також елементи з'єднання між кузовом і ходовою частиною), які передають акустичну й вібраційну енергію.

Зменшення шуму двигуна досягають застосуванням у його конструкції нетрадиційних рішень, широким використанням у вузлах і деталях пластмаси, гуми, кераміки, алюмінію та інших композиційних матеріалів.

Зменшення шуму в системі випускання відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння забезпечують глушниками випускання з двома-трьома ступенями глушіння шуму. Вони містять попередній і основний глушники шуму.

На легкових автомобілях встановлюють глушники-нейтралізатори відпрацьованих газів.

Для зниження шуму від агрегатів трансмісії на вантажних автомобілях конструктори застосовують нові технологічні рішення

щодо підвищення точності виготовлення зубчастих зачеплень, синхронізаторів, карданних з'єднань та інших елементів. Важливе значення в трансмісії, з точки зору генерації шуму, має марка мастила для її агрегатів. Щоб зменшити рівень шуму від ходової частини автомобіля, застосовують гумові та пластмасові деталі в ресорах, амортизаторах, рульовому управлінні та інших вузлах ходової частини.

Ураховуючи те, що шум шин автомобіля робить суттєвий внесок у загальний рівень зовнішнього та внутрішнього шуму автотранспортних засобів, а на високих швидкостях руху стає домінуючим, постає питання про розроблення нормативних документів, що регламентують рівні шуму шин як елемента конструкції автомобіля.

Для зменшення аеродинамічного шуму, що створює зовнішня поверхня кузова автомобіля при контакті з набігаючими потоками повітря, потрібно розробляти нові форми кузовів автомобілів, на вантажних автомобілях застосовувати обтічники, на вантажних автопоїздах встановлювати тенти між тягачем і напівпричепом для створення закритого буферного простору.

Останнім часом розвивається новий напрям запобігання шуму — акустичний тюнінг. Це дообладнання внутрішнього простору салону автомобіля для захисту від шуму в салоні авто. При цьому встановлюють панелі шумоізоляції на двері, кришки капота і багажника, додатково закріплюють елементи оббивки салону, панелі приладів, сидіння та ін. Також для цього наносять на елементи конструкції вібропоглинаючі та антикорозійні пасти.

Для зменшення автодорожнього шуму створюють дорожні покриття із звукопоглинальними властивостями. Наприклад, у Голландії, Бельгії, Німеччині, Великій Британії використовують дорожнє покриття, що удвічі зменшує рівень шуму від автомобільних шин. Воно складається із суміші асфальту, кварцу, базальту та наноситься з утворенням мікроскопічних внутрішніх порожнин. Створене у такий спосіб пористе покриття має ефект поглинання звукових хвиль.

Одним із найголовніших методів зменшення шуму рухомого складу залізничного транспорту є максимально можливе зменшення нерівності коліс і рейок. Для цього важливо недопускати хвилеподібного зношування залізничного полотна, застосовувати

дискові гальма для зменшення утворення нерівностей на бандажі коліс. Дослідження показують, що можна зменшити рівень шуму вантажних вагонів за допомогою дискових гальм до 5 дБА. Можна також застосовувати деякі типи колодкових гальм, у яких чавунні колодки замінюються на гальмівні колодки з композитних матеріалів. Така заміна сприяє зменшенню шуму кочення завдяки тому, що на поверхні колеса утворюється менше хвилястих нерівностей.

Зменшення шуму залізниці можна досягнути також внаслідок збільшення демпфірування коліс або рейок. Демпфірування — це гасіння коливань у динамічній системі внаслідок розсіювання енергії за допомогою спеціальних пристроїв — демпферів. Практика показує, що це дає змогу зменшувати скрегіт коліс при проході кривих ділянок колії. Однак при коченні коліс на прямолінійній ділянці або криволінійній ділянці великого радіуса це не приводить до значного зниження шуму.

Інший метод зменшення шуму залізничних вагонів — влаштування акустичних екранів на кузові у вигляді фартухів, що прикривають ходову частину. Проте практика показує, що ефект від цього є переважно незначний — рівень шуму зменшується в середньому до 2 дБА. Складність влаштування фартухів полягає в тому, що зазвичай їх не можна зробити досить низькими для повного екранування шуму коліс через жорсткі обмеження встановленого габариту рухомого складу для запобігання зіткнень із різними колійними пристроями.

Ще одним можливим рішенням для зменшення шуму є влаштування лінійних акустичних екранів уздовж залізничного полотна. Проте встановлення таких екранів безпосередньо близько до колії має недоліки. Зазвичай акустичні екрани ефективні лише тоді, коли їх висота перевищує довжину звукової хвилі, що поширюється в напрямі екрана. За співвідношенням можливих висот та довжин звукової хвилі можна вважати, що екрани будуть ефективні лише в діапазоні верхніх частот спектра шуму взаємодії колеса і рейки і лише тоді, коли кожна залізнична колія буде огорожена акустичними екранами з двох боків.

Для зменшення негативного впливу авіаційного шуму в деяких країнах обмежують експлуатацію аеропортів у певні години доби. Наприклад, у міжнародному аеропорту «Женева» (Швейцарія)

внаслідок схвалення Федерального управління цивільної авіації введено обмеження на зльоти і посадки в нічний час з 22.00 до 6.00 для всіх видів повітряних суден.

Відомі також приклади часткових обмежень на зльоти і посадки в нічний час доби. При цьому дозволяються певні види операцій вночі, виходячи з типу або класу повітряного судна. Наприклад, у міжнародному аеропорту «Палм-Біч» у Флориді заборонені зльоти за розкладом повітряних суден, що створюють шум вище певного рівня у період з 22.00 до 7.00.

Відома практика введення обмежень на загальну кількість операцій, виконуваних у певний період часу. Наприклад, у лондонському міжнародному аеропорту «Хітроу» дозволяється 3650 операцій повітряних суден у нічні години впродовж літнього періоду, тоді як в аеропорту «Гетвік» у той же період часу дозволяється виконувати 4300 операцій.

Обмеження експлуатації повітряних суден у певні години доби вважається найбільш жорстким видом боротьби з шумом у галузі авіаперевезень. Ці обмеження можуть мати значні економічні наслідки для повітряного транспорту, особливо тоді, коли повітряні перевезення пов'язані зі зльотами і посадками в аеропортах, розташованих у різних часових поясах.

Одним зі способів зменшення шуму від авіатранспорту є застосування правила периметра. Цим правилом користуються для обмеження дальності польотів, здійснюваних при вильоті з певного аеропорту. Наприклад, в аеропорту Джона Вейна в Каліфорнії введені обмеження, згідно з якими там дозволені польоти з дальністю, яка не перевищує 500 миль.

Дальність польоту може впливати на рівень створюваного шуму різними шляхами. Вона може визначати пропускну здатність аеропорту. У загальному випадку менша кількість операцій приводить до зменшення загального шуму. При обмеженні дальності польоту максимальна злітна маса повітряного судна менша, оскільки вона визначається здебільшого запасами потрібного палива. Менша злітна маса дає змогу зменшувати потрібну піднімальну силу, що своєю чергою дає змогу зменшувати розміри контуру шуму, створюваного повітряним судном на земній поверхні. Типи повітряних суден, потрібні для виконання польотів на меншу дальність, зазвичай створюють менший рівень шуму, ніж

типи суден, що використовуються для виконання польотів на великі дальності.

Основною причиною встановлення меж пропускної здатності є обмеження шуму повітряних суден, що впливає на ті зони аеропорту, у яких зосереджений обслуговуючий персонал і пасажирів.

Авіакомпаніям часто не дозволяється збільшувати обсяги перевезень, якщо на авіалініях не введено в експлуатацію менш шумні повітряні судна.

Щоб захистити від шуму будівлі аеропорту та житлові будинки, розташовані поблизу нього, використовують посилену звукоізоляцію. Сюди входить ізоляція зовнішніх стін, вікон, дверей та системи перекриттів, що сприяє значному поліпшенню звукоізоляції зовнішньої оболонки конструкції.

Попри те, що звукоізоляція вважається важливим і ефективним методом зменшення негативного впливу шуму на людину, пріоритет на сьогодні віддається архітектурно-планувальним заходам із тим, щоб житлові будинки розташовувалися якомога далі від джерел виникнення шуму.

Архітектурно-планувальні заходи є обов'язковим компонентом у комплексному підході щодо мінімізації дії шуму транспортних засобів. Архітектурно-планувальні заходи проводить виконавча влада міст і регіонів з урахуванням містобудівних та транспортно-планувальних чинників. До містобудівних факторів належать поверховість і композиція житлової забудови, рельєф місцевості, озеленення, ширина вулиці в лініях забудови. Транспортно-планувальними факторами є ширина проїзної частини, ширина тротуару, газонів, розділових смуг, інженерні споруди із захисту навколишнього середовища тощо.

Комплексному розв'язанню проблеми захисту від шуму сприяє складання карт шумового забруднення міст, на які наносять стаціонарні й пересувні джерела шуму. Такі карти можуть ставати основою для розроблення містобудівних заходів захисту житлової забудови від шуму.

10.3.2. Заходи в зонах аварій транспортних засобів

Заходи захисту атмосфери, гідросфери та літосфери в зонах аварій транспортних засобів, що перевозять небезпечні вантажі, мають особливе значення.

На автотранспортних підприємствах потрібно розробляти методику дій щодо запобігання можливого забруднення довкілля. При цьому слід враховувати характер вантажів, умови перевезення та інші фактори. Водіїв автомобілів потрібно інформувати про порядок дій у разі аварії, забезпечувати первинними засобами ліквідації її наслідків, якщо це технічно можливо. У разі виникнення екологічної аварії на автотранспортному підприємстві водій або особа, відповідальна за природоохоронну діяльність, повинні повідомити про неї в службу санітарного нагляду, а при великій аварії — у відповідні служби МНС України.

Роботи із захисту від впливу небезпечних вантажів у зонах аварій включають відбирання проб повітря, води та ґрунту для визначення ступеня забруднення, обвалування місць розливу небезпечних вантажів, створення котлованів і штучних пасток для збирання рідини, спорудження траншей, дамб для запобігання потрапляння небезпечних речовин у поверхневі водойми з дощовою і талою водою, збирання, перетарування, утилізацію та знезараження залишків небезпечних вантажів. Забруднений у результаті аварії ґрунт слід збирати і вивозити, а на його місце потрібно завозити свіжий.

Під час проведення природоохоронних заходів у зонах аварій значні труднощі виникають тоді, коли потрібно знешкодити та захоронити залишки небезпечних вантажів і тари, у якій вони перевозилися. Знешкодження проводять із використанням розчинів лугів (3-відсоткова каустична сода, 5-відсоткова кальцинована сода, 10-відсоткове гашене вапно), а також водного розчину хлорного вапна.

Методи знешкодження таких небезпечних речовин, як ртуть, арсен, ціаністи сполуки, сірковуглець, нафтопродукти тощо, добре розроблені, але застосування їх ускладнюється тим, що доволі важко забезпечити технологічність протікання потрібних реакцій при великих розливах за конкретних умов на місцевості.

Щоб успішно ліквідувати наслідки транспортних аварій, потрібно точно знати весь перелік вантажів, які належать до небезпечних, а також знати методи їх знешкодження. Відповідні служби ООН склали Міжнародний перелік небезпечних вантажів, які перевозять найчастіше. Цей перелік містить близько 3000 найменувань. Покажчики небезпечних вантажів сприяють визначенню заходів боротьби із забрудненнями під час аварій.

10.3.3. Функції управління екологічною діяльністю

Управління екологічною діяльністю є формою діяльності, що забезпечує збереження стійкої рівноваги екосистем, раціонального використання природних ресурсів, зменшення забруднення атмосфери, водних об'єктів, ґрунту, надр, зменшення шкідливого впливу шумів, вібрацій, випромінювань і інших фізико-хімічних чинників, організації робіт зі знищення та утилізації відходів.

Управління екологічною діяльністю на підприємствах транспорту полягає в забезпеченні реалізації рішень зі створення сприятливого навколишнього середовища та його охорону в районах впливу пересувних та стаціонарних джерел транспортної інфраструктури, а також захист суспільства від негативного впливу транспортного підприємства.

Управління екологічною діяльністю на транспорті як складова єдиного процесу державного управління з охорони навколишнього середовища в сучасних умовах і в перспективі на першу чверть ХХІ ст. виходить із таких принципів:

- організація ефективного управління екологічною діяльністю за допомогою програмно-цільового планування;
- створення ефективної системи екологічного контролю і моніторингу на основі аерокосмічного зондування і наземного оперативного супроводу з використанням мережі стаціонарних і пересувних постів спостереження, а також пунктів контролю екологічних параметрів транспортних засобів;
- поєднання правових і економічних методів управління природоохоронною діяльністю на транспорті, розроблення нормативно-правової бази, що стимулює освоєння ресурсозаощадливих екологічно безпечних технологій виробництва;
- застосування системи обов'язкової сертифікації за екологічними вимогами для транспортних засобів, палива, обладнання, технологій, шляхів сполучення та ін.;
- використання ліцензування для забезпечення дотримання екологічних вимог та обов'язкових умов законодавства;
- формування фінансово-кредитного механізму природокористування в транспортній галузі з широким залученням позабюджетних джерел;
- упровадження ринкових економічних регуляторів для заохочення підприємницьких ініціатив у сфері охорони природи при збереженні державного контролю і нормування в цій області;

- проведення науково-прикладних розробок для вирішення актуальних проблем у галузі екології транспорту;
- розвиток системи екологічної підготовки і перепідготовки фахівців транспорту.

При реалізації функцій управління екологічною діяльністю слід активно використовувати правові методи примушення і переконання. Методи примушення — це обов’язкові розпорядження, заборони, рекомендації, наприклад, заборона скидання стічних вод у водний об’єкт або обов’язковість проведення державної екологічної експертизи. Методи переконання включають узгодження і дозволи, наприклад, узгодження будівництва об’єктів, які можуть шкідливо впливати на довкілля, зокрема об’єктів транспорту.

Найважливішими функціями управління екологічною діяльністю є:

- облік і соціально-економічна оцінка природних ресурсів;
- контроль за станом природного середовища та аналіз його змін під впливом антропогенної діяльності;
- планування і фінансування екологічних програм;
- організація природоохоронної діяльності тощо.

Основу робіт екологічної спрямованості складає екологічна інформація, що базується на кількісному й якісному моніторингу стану навколишнього середовища.

10.3.4. Екологічний облік

Підприємства транспорту повинні вести облік спожитих природних ресурсів та проведених заходів з охорони довкілля. Відомості про стан природних ресурсів і забруднення навколишнього середовища у вигляді поточної та річної звітності транспортні підприємства повинні подавати у природоохоронні органи та органи державної статистики. Державні природоохоронні органи ведуть кадастри природних ресурсів: земельний, водний, лісовий, надр, тваринного світу, особливо природних територій та об’єктів, що охороняються.

Кадастр природних ресурсів — це систематизоване зведення відомостей, що складаються періодично або безперервними спостереженнями з використанням кількісних, якісних і територіально-адресних показників, що характеризують певний вид природних ресурсів. У цьому кадастрі містяться фізико-географічні характеристики, класифікації, характер змін стану ресурсів під впливом

природних, техногенних і економічних чинників, а також економічна оцінка ресурсів та інша інформація.

Державний земельний кадастр містить інформацію про правовий режим земель, їх категорії, інформацію про власників, орендарів, про якісну характеристику і цінність земель. Інформація з кадастру використовується при плануванні використання земель, їх виділення користувачам чи вилучення з користування, під час визначення платежів за земельні ресурси та для інших цілей.

У Державному водному кадастрі міститься інформація про склад водного фонду, його використання для питного, комунально-побутового постачання, потреб промисловості, сільського господарства, транспорту.

До кадастрів відносять також Червону книгу рідкісних видів живих організмів, що перебувають під загрозою зникнення, а також Зелену книгу рідкісних, зникаючих і типових рослинних угруповань, що потребують особливої охорони.

Кадастровим документом є також облік забрудників навколишнього середовища з підрозділом за обсягом і складом викидів, скидів і розміщених відходів.

Створюються нові види кадастрів, наприклад Містобудівний кадастр, у якому ведеться облік житлових, комунальних, промислових, транспортних та інших видів об'єктів з деякими показниками їх впливу на навколишнє середовище.

Наявна на сьогодні система кадастрового обліку має певні недоліки:

- кожен кадастр ведеться окремо, що не дає змоги проводити комплексне оцінювання природно-ресурсного потенціалу;
- недостатньо розроблені кадастри рослинного і тваринного світу, кадастри рекреаційних і заповідних територій;
- показники, за якими ведеться облік у різних кадастрах, різні, у них немає оцінки ефективності використання конкретного ресурсу.

З огляду на згадані недоліки наявна система кадастрів потребує вдосконалення.

Транспортні підприємства-забрудники навколишнього середовища повинні організовувати екологічні служби і звітувати перед контролювальними органами відповідно до затверджених форм статистичної звітності.

Екологічний облік на транспорті, окрім державних та місцевих природоохоронних органів, мають вести спеціалізовані служби

Міністерства інфраструктури, транспортних відомств, громадські організації. Вони мають здійснювати первинний облік і складати звітність за видами і кількістю забруднювальних речовин, що викидаються транспортними підприємствами в атмосферу, у водні об'єкти, ґрунт. Також належним чином слід контролювати дотримання норм ГДК у викидах, реєструвати випадки викидів високо-токсичних або інших шкідливих речовин, що призвели до перевищення їх ГДК, а також залпових викидів. Основні відомості про кількісний склад викидів отримують із використанням інструментально-лабораторних методів контролю.

Щоб отримати інформацію про фактичний стан навколишнього середовища, динаміку зміни його якісних і кількісних характеристик, створюють систему екологічного моніторингу. Її основна мета — виділення антропогенної складової цих змін на фоні природних процесів.

Використання автоматизованих систем екологічного моніторингу дає змогу отримувати точні дані про якість повітря і води, спостерігати за чинниками антропогенної дії, складати прогноз динаміки стану природного середовища і на його підставі приймати рішення щодо управління екологічною діяльністю.

Екологічний контроль слід здійснювати не лише в процесі експлуатації об'єктів транспорту, але й на стадії розроблення і проектування. Щоб перевірити, чи відповідає господарська діяльність підприємств вимогам екологічної безпеки, в Україні діє обов'язкова Державна екологічна експертиза, що є формою попереджувального контролю і разом із тим самостійним видом управлінської діяльності. Її правовою основою є Закон України «Про екологічну експертизу» та підзаконні акти. Експертизу проводять еколого-експертні підрозділи, спеціалізовані установи, організації або спеціально створювані комісії Міністерства охорони здоров'я України із залученням інших органів виконавчої влади, фахівців установ, організацій і підприємств, а також експертів міжнародних організацій.

Державну екологічну експертизу проводять також на відомчому та галузевому рівнях.

Результатом проведення державної екологічної експертизи є позитивний висновок або заборона реалізації того чи іншого проекту.

Державній екологічній експертизі підлягають проекти законодавчих та інших нормативно-правових актів, передпроектні, проєктні матеріали, документація з впровадження нової техніки, технологій, матеріалів і речовин, продукції, реалізація яких може призвести до порушення екологічних нормативів, негативно впливати на стан НПС та створювати загрозу життю людей.

Об'єктами Державної екологічної експертизи на транспорті є проєкти галузевих програм розвитку, проєкти будівництва транспортних магістралей і розміщення об'єктів транспортної інфраструктури, новий вид рухомого складу, техніка й технологічні процеси, сировина й матеріали, включаючи паливно-мастильні, проєкти стандартів, технічних і правових норм.

Під час проведення екологічної експертизи використовують державні і галузеві стандарти, державні будівельні норми, санітарні норми і правила, методичні матеріали Міністерства інфраструктури і галузевих інститутів.

Окрім Державної екологічної експертизи законодавство України передбачає здійснення громадської та інших видів екологічних експертиз.

Громадську екологічну експертизу організовують незалежно від державної експертизи за ініціативою громадських об'єднань чи місцевих органів влади за рахунок їхніх власних коштів або на громадських засадах.

Інші види експертизи здійснюють за ініціативою зацікавлених фізичних та юридичних осіб на договірній основі спеціалізовані еколого-експертні органи.

10.3.5. Екологічне страхування, ліцензування та сертифікація

Екологічне страхування — це особлива категорія страхування, яка передбачає для організації, що страхує, часткове або цілковите відшкодування економічного збитку, завданого застрахованим об'єктам у разі непередбаченого забруднення навколишнього середовища. Наприклад, обов'язково потрібно страхувати перевезення небезпечних вантажів залізницями України. Екологічне страхування особливо вигідне також для екологічно небезпечних виробництв, оскільки зменшує в остаточному підсумку їхні витрати з компенсації збитків у разі аварій. Відповідно до страхового

договору, значну частину цих витрат несе страховий екологічний фонд, що виступає в ролі страховика.

Основною метою екологічного страхування на транспортних підприємствах повинно стати забезпечення гарантій компенсації збитків від аварійного, ненавмисного забруднення довкілля і забезпечення додаткового джерела фінансування природоохоронних заходів. Таким чином, економічний зміст екологічного страхування полягає у замкненому перерозподілі страхових платежів між суб'єктами страхування через фонд екологічного страхування.

Страхування екологічної відповідальності можна здійснювати і без участі страхових компаній взаємним страхуванням транспортних підприємств. Вони можуть створювати об'єднані фонди або формувати власний резервний фонд.

Загалом екологічне страхування є достатньо привабливим, тому що поєднує економічні й екологічні інтереси. На сьогодні широке застосування екологічного страхування стримується через:

- відсутність повноцінної нормативно-правової бази;
- важке економічне становище підприємств, що призводить до неплатежів страхових внесків;
- високі тарифні ставки за екологічні ризики.

Важливим для екологічного страхування є конкретизація видів та розмірів відшкодованого збитку. Потрібно також розробляти нормативи компенсаційних витрат при настанні відповідних страхових подій, а також типові правила зменшення страхових сум з урахуванням масштабів страхових подій, витрат винуватця аварії тощо. У всіх випадках повинен страхуватися не весь збиток, що виникає у самого винуватця внаслідок аварії, оскільки це зменшує зацікавленість підприємств у зниженні екологічних ризиків.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення нормативно-правової бази з відшкодування шкоди, завданої здоров'ю та майну громадян, а також юридичним особам унаслідок виникнення надзвичайних екологічних ситуацій на транспортних підприємствах. Оскільки такої бази немає, застосовують норми цивільного права, щоб хоча б частково відшкодувати шкоду. Декларативний характер нормативно-правових актів свідчить про те, що потрібно розробляти правові норми і приймати самостійний закон про відшкодування шкоди, завданої екологічними правопорушеннями, що конкретизував би нормативно-правові положення компенсації еколого-економічного збитку.

Основними засобами забезпечення якості перевезень є ліцензування, стандартизація і сертифікація.

На сьогодні надання послуг із перевезення пасажирів і вантажів транспортом загального користування підлягає ліцензуванню відповідно до Закону України «Про ліцензування певних видів господарської діяльності» від 1 червня 2000 р. №1775-III. Згідно з ним транспортні підприємства за умов дотримання певних вимог можуть отримувати ліцензії.

Ліцензія (дозвіл) — це документ, що регулює взаємовідносини між спеціально уповноваженими природоохоронними органами і природокористувачами.

Ліцензування окремих видів діяльності в галузі транспорту запроваджується з метою:

- забезпечення безпеки і надійності роботи транспорту;
- обмеження монополізму та розвитку конкуренції;
- створення рівних умов для розвитку господарської діяльності підприємств транспорту.

Власник ліцензії на право надання перевізної, транспортно-експедиційної та іншої діяльності, пов'язаної з транспортним процесом, зобов'язаний виконувати, поряд з вимогами статуту певного виду транспорту, правил перевезень і технічної експлуатації рухомого складу, інших спеціальних положень і правил, також вимоги екологічної безпеки.

Ліцензуванню у сфері транспортної діяльності, відповідно до цього закону, підлягають такі види господарської діяльності:

- надання послуг із перевезення пасажирів, вантажів повітряним транспортом;
- надання послуг із перевезення пасажирів і вантажів річковим, морським транспортом;
- надання послуг із перевезення пасажирів і вантажів автомобільним транспортом відповідно до видів робіт, визначених Законом України «Про автомобільний транспорт»;
- надання послуг із перевезення пасажирів, вантажів залізничним транспортом;
- діяльність, пов'язана з виробництвом автомобілів та автобусів;
- виробництво теплової енергії, транспортування її магістральними та місцевими (розподільними) тепловими мережами та постачання теплової енергії.

Ліцензія видається суб'єктам господарювання за плату спеціальним органом ліцензування — органом виконавчої влади, визначеним Кабінетом Міністрів України, або спеціально уповноваженим виконавчим органом рад для ліцензування певних видів господарської діяльності.

Ліцензування на транспорті загального користування спрямоване на визначення початкових і поточних умов надання послуг із перевезень, а також найважливіших параметрів обслуговування споживачів.

Завданням ліцензування на транспорті загального користування, згідно із Законом України «Про автомобільний транспорт», є:

- сприяння становленню сучасного ринку послуг, його захист від недобросовісних суб'єктів підприємницької діяльності та стимулювання впровадження нових видів послуг;
- створення конкурентного середовища;
- захист прав споживачів та ринку послуг від небезпечних перевезень;
- забезпечення надання послуг за встановленими рівнями якості;
- забезпечення використання сертифікованих і дозволених для використання транспортних засобів;
- забезпечення доступності послуг.

Відшкодування витрат, пов'язаних із видачею ліцензій на перевезення пасажирів і вантажів автомобільним транспортом загального користування, пасажирів і багажу на таксі та з контролем виконання ліцензіатами ліцензійних умов, здійснюється відповідно до Закону України «Про Державний бюджет України» за рахунок плати за ліцензії.

Стандартизація на транспорті здійснюється згідно із Законом України «Про стандартизацію» від 17 травня 2001 р. № 2408-III.

Стандартизацією в галузі транспорту можна визнати діяльність, що полягає у встановленні положень для загального і багаторазового застосування щодо наявних чи можливих завдань із метою досягнення оптимального ступеня впорядкування у транспортній галузі, результатом якої є підвищення ступеня відповідності продукції, процесів та послуг їхньому функціональному призначенню, усуненню бар'єрів у торгівлі та сприянню науково-технічному співробітництву.

Державна система стандартизації на транспорті спрямована на:

- реалізацію єдиної технічної політики;
- захист інтересів споживачів і держави у питаннях безпеки перевезень для життя, здоров'я людей та майна осіб, охорони довкілля;
- підвищення якості товарів, робіт, послуг відповідно до розвитку науки і техніки, потреб населення і народного господарства;
- економію всіх видів ресурсів, поліпшення техніко-економічних показників діяльності;
- забезпечення безпеки об'єктів з урахуванням ризику виникнення природних і техногенних катастроф та інших надзвичайних ситуацій;
- створення нормативної бази функціонування систем стандартизації і сертифікації товарів, робіт, послуг;
- забезпечення обороноздатності та мобілізаційної готовності держави.

Усі складові перевізного процесу та інших видів діяльності на транспорті, пов'язані з потенційною небезпекою заподіяння шкоди екологічним системам (рухомий склад, паливно-мастильні та інші матеріали, обладнання, технології, транспортні магістралі, перевантажувальні комплекси тощо), повинні бути сертифіковані на відповідність чинним технологічним і екологічним вимогам.

Сертифікація товарів, робіт, послуг на транспорті здійснюється згідно з Декретом Кабінету Міністрів України «Про стандартизацію і сертифікацію» від 10 травня 1993 р. № 46-93. Відповідно до нього державну систему сертифікації створює центральний орган виконавчої влади з питань технічного регулювання — національний орган України із сертифікації, який проводить та координує роботу щодо забезпечення її функціонування. Під час проведення сертифікації та в разі позитивного рішення органу із сертифікації суб'єктові транспортної діяльності — заявникові видається сертифікат та право маркувати продукцію спеціальним знаком відповідності. Форма, розміри і технічні вимоги до знаку відповідності визначені державними стандартами.

Метою сертифікації товарів, робіт, послуг на автомобільному транспорті загального користування є:

- запобігання реалізації товарів, робіт, послуг, небезпечних для життя, здоров'я людей та майна осіб і довкілля;

- сприяння споживачам у свідомому виборі товарів, робіт, послуг;
- створення умов для участі суб'єктів підприємницької діяльності, які належать до автомобільного транспорту загального користування, у міжнародному економічному, науково-технічному співробітництві.

Порядок проведення сертифікації товарів, робіт, послуг на автомобільному транспорті визначається Кабінетом Міністрів України.

Щоб забезпечити успішну взаємодію між різними видами транспорту, їх робота має бути скоординована. Статтею 3 Закону України «Про транспорт» серед завдань державного управління в галузі транспорту визначено координацію роботи різних видів транспорту. Координацією в цьому випадку є узгодження дій відповідних органів та ланок транспорту з метою досягнення злагодженості й ефективності під час виконання завдань із перевезення пасажирів та вантажів.

10.4. Елементи управління природоохоронною діяльністю на авіаційному транспорті

Основою державного регулювання діяльності цивільної авіації України є законодавча та нормативно-правова база, яку становлять Конституція України, Повітряний кодекс України, Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», Закон України «Про охорону атмосферного повітря», Концепція розвитку цивільної авіації України (постанова КМУ 28.12.96 № 1587), Державна комплексна програма розвитку авіаційного транспорту України, інші законодавчі акти, національні нормативно-правові акти, державні та галузеві стандарти, керівні документи зі стандартизації, нормативно-правові акти колишнього МЦА СРСР, які не втратили свою актуальність і не суперечать Конституції та чинному законодавству України, чинні для України акти міжнародного повітряного права, документи міжнародних організацій, членом яких є Україна.

Діяльність цивільної авіації України регулюється на підставі майже 140 національних нормативно-правових актів та нормативно-правових актів колишнього СРСР, що відповідають міжнародним вимогам.

Для забезпечення екологічної безпеки авіапідприємств формується три групи природоохоронного законодавства:

- нормативно-правові акти, що визначають загальнообов'язкові екологічні вимоги до діяльності авіапідприємств;
- нормативно-правові акти, спрямовані на дотримання екологічних вимог виключно експлуатаційними ремонтними підприємствами цивільної авіації (ЦА);
- нормативно-правові акти, які забезпечують виконання екологічних вимог при використанні природних ресурсів.

Розвиток ЦА України за сучасних умов неможливо здійснювати без розгляду документів ІСАО, членом якої є Україна.

Розвиток авіації як міжнародного виду транспорту зробив необхідними координацію, стандартизацію і приведення основ поточної діяльності, правил і законодавства до загальноприйнятих у світі норм. ІСАО було створено для проведення такої міжнародної координації, що здійснюється за допомогою тринадцятьох багатосторонніх законодавчих документів. Держава — член ІСАО бере на себе відповідні зобов'язання щодо прийнятих в ІСАО стандартів і рекомендацій.

Одним із методів покращення екологічної ситуації під час діяльності авіапідприємств є поява серії міжнародних стандартів систем екологічного менеджменту ISO 14000.

Система стандартів ISO 14000, на відміну від багатьох інших природоохоронних стандартів, орієнтована не на кількісні параметри (об'єм викидів, концентрації речовини і т.п.) і не на технології (вимога використовувати чи не використовувати певні технології, вимога використовувати «найкращу доступну технологію»). Основним предметом ISO 14000 є система екологічного менеджменту — *environmental management system* (EMS). Типові положення цих стандартів полягають у тому, що в організації мають бути введені і додержуватися певні процедури, підготовлені певні документи, призначений відповідальний за певну галузь. Основний документ серії — ISO 14001 «Специфікації і посібник з використання систем екологічного менеджменту» — не містить жодних «абсолютних» вимог до впливу організації на навколишнє середовище, за винятком того, що організація в спеціальному документі повинна оголосити про своє прагнення відповідати національним стандартам. Усі його вимоги є такими, що «аудитуються» — передбачається, що відповідність чи невідповідність їм конкретної організації може бути встановлена з високою мірою

певності. Саме відповідність стандарту ISO 14001 і є предметом формальної сертифікації.

Усі інші документи розглядаються як допоміжні — наприклад, ISO 14004 містить більш розгорнутий посібник зі створення системи екологічного менеджменту, серія документів 14010 визначає принципи аудиту EMS. Серія 14040 визначає методологію «оцінювання ЖЦ», що може використовуватися під час оцінювання екологічних впливів, пов'язаних із продукцією організації.

Основні вимоги, що їх висуває до підприємств ISO 14001, можуть бути висунуті й для авіапідприємств. Відповідність цим вимогам означає, що підприємство має систему, яка відповідає цьому стандарту.

Такий характер стандартів зумовлений, з одного боку, тим, що ISO 14000 як міжнародні стандарти не повинні втручатися у сферу дій національних нормативів. З іншого боку, попередником ISO є «організаційні» підходи до якості продукції (наприклад, концепція «глобального управління якістю» — *total quality management*, ISO 9000), згідно з яким ключем до досягнення якості є вибудовування належної організаційної структури і розподіл відповідальності за якість продукції.

Стандарти ISO 14000 є «добровільними». Вони не замінюють законодавчих вимог, а забезпечують систему визначення того, як компанія впливає на навколишнє середовище і як виконуються вимоги законодавства.

За задумом ISO, система сертифікації має створюватися на національному рівні. Судячи з досвіду провідних країн, приміром Канади, у процесі створення національної інфраструктури сертифікації мають визначальне значення національні агентства зі стандартизації — Держстандарт, Торгово-промислові палати, союзи підприємств і т.д.

Для екологізації авіаційної галузі доцільними є такі кроки:

- популяризація стандартів ISO 14000;
- популяризація основних принципів екологічного аудиту підприємств;
- підготовка фахівців-аудиторів;
- розвиток нормативної бази з екологічного аудиту;
- впровадження національної системи екологічної сертифікації.

Україна має Повітряний кодекс, згідно з яким аеропорт і аеропортова діяльність підлягають сертифікації (ст. 42). Постановою

Кабінету Міністрів України від 29 березня 2000 р. за № 573 визначено, що Укрaviaтранс реєструє, сертифікує та надає допуски до експлуатації цивільних повітряних суден, аеродромів, посадкових майданчиків, аеропортів, проводить сертифікацію технічних засобів, сертифікацію експлуатантів, суб'єктів комерційного обслуговування авіаційних перевезень, організовує та контролює підготовку, перепідготовку та сертифікацію авіаційного персоналу.

Атестація авіапрацівників — акція з боку повноважного органу, експлуатанта або авіаційного навчального закладу щодо встановлення відповідності їхніх фактичних знань, умінь, досвіду, психофізіологічного стану та інших якостей чинним кваліфікаційно-посадовим вимогам на право виконувати посадові обов'язки авіаспеціаліста.

Згідно з документами ІКАО, Україна повинна розробити систему сертифікації на повітряному транспорті, нормативні документи (базис) із сертифікації аеропортів, класифікаційні вимоги до аеропортів.

Набули чинності державні стандарти України, які стосуються діяльності аеропортів, зокрема:

- ДСТУ 2462-94. «Сертифікація. Основні поняття»;
- ДСТУ 3432-96. «Авіаційна наземна техніка»;
- ДСТУ 3228-95. «Аеродроми цивільні».

Розроблено й зареєстровано в Державному департаменті інтелектуальної власності й правила сертифікації ДМАБ — «Науково-методичне забезпечення сертифікації ДП «Міжнародний аеропорт “Бориспіль”».

Державний департамент авіаційного транспорту регламентує порядок процедури відкриття, допуску до експлуатації, правила сертифікації аеродромів, реєстрації та ліцензування аеропортової діяльності. Рішення про відкриття аеропорту для міжнародних польотів (пунктів пропуску і митного контролю) приймає уряд України. Дані про аеропорт заносять до спеціального банку даних реєстру аеропортів України. Положення про реєстр аеропортів та порядок їх реєстрації встановлює Укрaviaтранс відповідно до вимог ДСТУ 3415-96. Дані про всі зміни, що відбулися під час експлуатації, щодо оснащення, стану та обладнання аеропорту слід подавати в Укрaviaтранс і фіксувати в реєстрі.

Сертифікація аеродрому та аеропорту розглядається як складова державної системи сертифікації на повітряному транспорті України

і здійснюється згідно із законами України «Про сертифікацію продукції і послуг», «Про захист прав споживачів» державними, міжнародними, відомчими стандартами та нормативами і вирішує завдання:

- створення умов для ефективної діяльності повітряного транспорту України;
- підтвердження відповідності об'єктів аеропорту встановленим вимогам;
- убезпечення польотів та запобігання актам незаконного втручання в діяльність аеропорту;
- забезпечення охорони навколишнього природного середовища;
- захист інтересів держави, суспільства і його громадян від несумлінності підприємств та інших юридичних і фізичних осіб, діяльність яких пов'язана зі здійсненням і забезпеченням повітряних перевезень та авіаційних робіт;
- реалізації антимонопольного законодавства, створення для роботи авіапідприємств умов вільної конкуренції.

Сертифікація аеропорту передбачає таку процедуру:

- подання заявки на сертифікацію;
- розгляд заявки та прийняття рішення щодо неї;
- експертизу доказової документації;
- обстеження (атестацію) аеропорту;
- аналіз результатів обстеження робіт із сертифікації і прийняття рішення щодо можливості видачі сертифіката відповідності та укладання ліцензійної угоди;
- оформлення, реєстрацію та видачу сертифіката відповідності;
- технічний нагляд за сертифікованим аеродромом та аеропортом;
- інформування про результати робіт із сертифікації аеродрому та аеропорту.

До аеропорту, що сертифікується, висувають такі вимоги:

- виконувати всі вимоги, висунуті органом із сертифікації аеропортів;
- забезпечити виконання норм і правил, регламентованих чинним законодавством;
- повідомляти орган із сертифікації щодо всіх суттєвих для експлуатації змін, які відбуваються в аеропорту;
- проводити регулярне планове інспектування безпеки польотів в аеропорту і за потреби — спеціальне інспектування, особливо після інцидентів і авіаційних пригод;

– у разі виявлення в аеропорту будь-яких невідповідностей чинним вимогам запроваджувати потрібні обмеження, що забезпечують польоти, та інформувати орган із сертифікації аеропортів;

– забезпечувати відповідність даних аеронавігаційної інформації фактичним характеристикам і параметрам аеродрому.

Сертифікати засвідчують відповідність аеродрому та аеропорту державним вимогам (нормам придатності) на діяльність щодо обслуговування повітряних перевезень і авіаційних робіт.

Аеропорт зможе обслуговувати повітряні перевезення та виконувати авіаційні роботи виключно за наявності відповідного сертифіката з доданими до нього спеціальними експлуатаційними положеннями. Не допускається експлуатації аеропорту без сертифіката або з простроченим терміном його дії.

Спеціальні експлуатаційні положення визначають права, допуски та обмеження для аеродрому та аеропорту, що належать до виконання польотів повітряними суднами, повітряних перевезень або авіаційних робіт, за даним сертифікатом.

Аеропортова діяльність, пов'язана з обслуговуванням на комерційній основі повітряних суден, пасажирів і вантажів, повинна здійснюватися юридичними і фізичними особами лише на підставі спеціальних дозволів (ліцензій).

Ліцензування аеропортової діяльності здійснюється відповідно до чинних правил і положень щодо ліцензування транспортного процесу на повітряному транспорті України і має на меті:

– забезпечити безпеку польотів і дотримання встановлених екологічних норм під час наземного обслуговування повітряних суден;

– забезпечити нормальне функціонування ринку авіаційних послуг, захист інтересів споживачів авіапослуг і реалізацію анти-монопольного законодавства.

У ліцензіях можуть бути передбачені обмеження щодо території їхньої дії та видів виконуваних робіт. Ліцензія не звільняє від обов'язку мати потрібні свідоцтва, дипломи, робочі сертифікати та інші документи, передбачені правилами наземного обслуговування повітряних суден, експлуатації будівель, споруд, обладнання, технічних засобів, пристроїв та інших об'єктів.

Правилами ліцензування визначено перелік документів, які подаються для одержання ліцензії, порядок розгляду заяв, критерії оцінювання заявників, що претендують на отримання ліцензії, а також форма, порядок і строки оформлення та видачі ліцензії.

■ Розділ 11

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧНІ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ

Структура ЖЦ виробів ракетно-космічного транспорту (РКТ) включає такі етапи:

- 1) створення (аванпроект, ескізний проект, розроблення робочої документації, підготовка й освоєння серійного виробництва);
- 2) виробництво;
- 3) експлуатація;
- 4) утилізація.

Сукупність етапів ЖЦ РКТ збігається з поняттям космічної діяльності.

11.1. Розроблення лімітів на природокористування

Найбільш ефективним методом зменшення негативного впливу на НПС є застосування в господарській діяльності безвідходних технологій із повним використанням усіх компонентів сировини. Однак розробити такі технології за нинішніх умов надзвичайно складно. Тому основним напрямом охорони НПС є нормування кількості викидів, стоків та відходів і контроль за ними в будь-якій галузі виробництва, у тому числі і в космічній діяльності.

В основі нормування лежить встановлення ГДК шкідливих речовин в атмосферному повітрі, воді, ґрунті та харчових продуктах. При встановленні ГДК приймають найнижчий рівень забруднення, який ґрунтується на санітарно-гігієнічних нормах. Гранічнодопустимі концентрації забрудника — це такий його максимальний вміст у природному середовищі (воді, ґрунті, 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. Гранічнодопустимі концентрації 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 ґрунті та продуктах харчування.

Для кожного середовища визначено різні види ГДК. Для повітряного середовища визначають ГДК_{р,з} — робочої зони, за яку вважають простір виробничого приміщення заввишки до 2 м над підлогою, де перебувають працівники (рівень вдихання); ГДК_{м,р} — максимальна разова, при вдиханні впродовж 20 хв не повинна спричинювати негативних наслідків в організмі людини; ГДК_{с,д} — середньодобова, не повинна негативно впливати в разі необмеженого тривалого (впродовж років) вдихання. Для водного середовища визначають ГДК_в — у воді господарсько-питного й культурно-побутового призначення; ГДК_{в,р} — у водоймах рибогосподарського водокористування. Для ґрунту ГДК_{гр} — в одному шарі ґрунту, не повинна негативно впливати не лише на здоров'я людини, а й на самоочищувальну здатність ґрунту. Для продуктів харчування визначають ГДК_{пр} або інакше — допустиму залишкову кількість (ДЗК) речовини, що не чинить шкідливого впливу на здоров'я людини.

У разі наявності у повітрі або воді кількох домішок обчислюють їх сумарну шкідливу дію за формулою:

$$C_1/\text{ГДК}_1 + C_2/\text{ГДК}_2 + \dots + C_n/\text{ГДК}_n \leq 1,$$

де C_1, C_2, C_n — концентрації забрудників, $\text{мг}/\text{м}^3$; $\text{ГДК}_1, \text{ГДК}_2, \text{ГДК}_n$ — ГДК забрудників, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Ліміти на природокористування встановлюють природокористувачам спеціально уповноважені державні органи в галузі охорони НПС виходячи з того, що потрібно постійно досягати нормативних об'ємів використання (вилучення) природних ресурсів, граничнодопустимих викидів (ГДВ) в атмосферу або граничнодопустимих скидів (ГДС) у водойму забрудників і нормативних об'ємів розміщення відходів виробництва з урахуванням екологічної обстановки в регіоні. Термін досягнення нормативних обсягів природокористування і ліміти в роках встановлюють відповідно до затверджених показників державних і регіональних екологічних програм [79].

Щодо 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 забруднювальних речовин у різних середовищах.

Норматив ГДВ — це обмежувальний об'єм (кількість) забруднювальної речовини за одиницю часу, перевищення якого призво-

дить до несприятливих наслідків у НПС або небезпечно для здоров'я людини (викид від джерела забруднення призводить до перевищення ГДК у 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 розроблення 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 забруднювальних речовин у НПС, лімітів використання природних ресурсів, розміщення відходів» (затверджений Постановою Уряду РФ від 3.08.1992р. № 545).

Значення ГДК забруднювальних речовин при розробленні проєктів указаних вище лімітів на природокористування наводяться в таких державних нормативах (ГН — у 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 (ОБРД) забруднювальних речовин, які належать до РКТ, наведено в табл. 11.1. Для РКТ проводиться також нормування дії на НПС електромагнітних випромінювань та акустичних шумів. Визначення граничнодопустимих рівнів електромагнітних випромінювань здійснюється відповідно до державних стандартів і правил:

ГОСТ 12.1.006-84.ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

Таблиця 11.1

Граничнодопустимі концентрації та орієнтовно безпечні рівні впливу

Речовина	Граничнодопустима максимальна разова (середньодобова) концентрація в повітрі населених пунктів, мг/м ³	Граничнодопустима концентрація у воді водойм господарсько-побутового (рибогосподарського) призначення, мг/л	Граничнодопустима концентрація в ґрунті, мг/кг
Гідразин несиметричний диметилгідразин (НДМГ)	0,001 (0,001)	0,01(гідразин) 0,02(НДМГ) (0,0005)	ОБУВ = 0,1
Тетраоксид азоту (АТ)	0,085 (0,04)	45 (у 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 нітратіоном 3,3(0,08) — за нітритіоном	130 — за нітритіоном
Аміак	0,2 (0,04)	10 (у перерахунку на азот) 2,0 (-)	-
Гас	- (5,0) ГДК _{рз} = 300,0	0,02 — синтин 0,3 — РГ-1 0,1 — авіаційний гас	-
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 (дихлордифтор метан)	40 (4,0)	-	-
Фреон-22 (дифторхлор метан)	100 (10)	-	-
Хладон 13В1 (трифторбром метан)	ГДК _{рз} =1000	-	-

Закінчення табл. 11.1

Речовина	Граничнодопустима максимальна разова (середньодобова) концентрація в повітрі населених пунктів, мг/м ³	Граничнодопустима концентрація у воді водойм господарсько-побутового (рибогосподарського) призначення, мг/л	Граничнодопустима концентрація в ґрунті, 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 (–)	

Для РКТ проводиться також нормування дії на НПС електромагнітних випромінювань та акустичних шумів.

Граничнодопустимі рівні електромагнітних випромінювань визначають відповідно до державних стандартів і правил:

1. ГОСТ 12.1.006-84.СББТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля». Допустима напруженість електромагнітного поля в діапазонах: 0,06–3 МГц — 500 В/м, 50 А/м; 3–30 МГц — 300 В/м; 30–300 МГц — 80 В/м. ГДР густини потоку енергії (ГПЕ) в діапазоні частот 300 МГц — 300 ГГц слід визначати, виходячи з допустимого енергетичного навантаження (ЕН) і часу дії за формулою:

$$\text{ГПЕ}_{\text{ГД}} = K \frac{\text{ЕН}_{\text{ГД}}}{T},$$

де $\text{ГПЕ}_{\text{ГД}}$ — граничнодопустимий рівень густини потоку енергії, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $\text{ЕН}_{\text{ГД}}$ — граничнодопустима величина енергетичного навантаження, яка дорівнює $2 \text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$; K — 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 $\text{ГПЕ}_{\text{ГД}}$ не повинно перевищувати $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

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 становить $25 \text{ В}/\text{м}$.

3. ГОСТ 12.1.045-84. ССБТ. «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля». Допустима напруженість електростатичного поля E_d ($\text{кВ}/\text{м}$) визначається за формулою:

$$E_d \leq 60 / \sqrt{T},$$

де T — час у годинах від 1 до 9.

Якщо більше, $E_d \leq 20 \text{ кВ}/\text{м}$.

4. Правила захисту населення від електромагнітних випромінювань. Для житлової забудови допустима напруженість електричного поля в діапазонах: $0,06\text{--}3 \text{ МГц}$ — $16 \text{ В}/\text{м}$; $3\text{--}300 \text{ МГц}$ — $5 \text{ В}/\text{м}$; $30\text{--}300 \text{ МГц}$ — $3 \text{ В}/\text{м}$.

У діапазоні $300 \text{ МГц}\text{--}300 \text{ ГГц}$ ГДР $\text{ГПЕ} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Для житлових приміщень допустима напруженість електричного поля в діапазонах $0,06\text{--}3 \text{ МГц}$ — $1 \text{ В}/\text{м}$; $3\text{--}30 \text{ МГц}$ — $0,4 \text{ В}/\text{м}$; $30\text{--}300 \text{ МГц}$ — $0,2 \text{ В}/\text{м}$.

У діапазоні $300 \text{ МГц}\text{--}300 \text{ ГГц}$ ГДР $\text{ГПЕ} = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Для електричного поля, що створюється пристроями електропередач змінного струму промислової частоти, встановлені такі ГДР напруженості електричного поля: для території житлової забудови — $1 \text{ кВ}/\text{м}$; для житлових приміщень — $0,5 \text{ кВ}/\text{м}$.

Граничнодопустимі рівні звукового тиску і шуму визначають відповідно до державних та галузевих стандартів:

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 предприятиях 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 ГДР звукового тиску в октавних смугах частот (Гц) становлять: 63 Гц — 99 дБ, 125 Гц — 92 дБ, 250 Гц — 86 дБ, 500 Гц — 83 дБ, 1000 Гц — 80 дБ, 2000 Гц — 78 дБ, 4000 Гц — 76 дБ, 8000 Гц — 74 дБ.

Допустимий рівень звуку (шуму) становить 85 дБА (для визначення допустимого рівня шуму слід до допустимого рівня звукового тиску додати 5).

11.2. Забезпечення екологічної безпеки космічної діяльності

Відповідно до Закону РФ «Про космічну діяльність», інших федеральних законів і нормативно-правових актів РФ, космічна діяльність повинна здійснюватись з урахуванням 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 призводить до несприятливих змін НПС, у тому числі навмисна ліквідація космічних об'єктів у космосі.

Основоположними документами, що регулюють природоохоронну діяльність у РФ і в Україні, є Закон РФ «Про охорону навколишнього 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 безпосередньо стосується 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 зі ст. 4 закону, «Охороні від забруднення, псування, пошкодження на території РФ підлягають: природні екологічні системи, озоновий шар атмосфери, земля, її надра, поверхневі й підземні води, атмосферне повітря, ліси...». Таким чином, як охоронні природні середовища Законом не розглядаються близький 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 навколишнього 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 СНД 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. У табл. 11.2 в стиснутому вигляді подані можливі обмеження, які накладаються міжнародно-правовими актами на космічну діяльність.

Таблиця 11.2

**Обмеження, які накладаються міжнародно-правовими актами
на космічну діяльність**

Найменування міжнародно-правового акта, час та місце прийняття, дані про ратифікацію Росією	Основні положення	Можливі обмеження, які накладаються на космічну діяльність
<p>Віденська конвенція про охорону озонowego шару, 1985 р., Відень, Австрія. Ратифікована Росією в 1988 р. Монреальський протокол із речовин, які руйнують озоневий шар, 1987 р., Монреаль, Франція. Ратифіковані Росією. Лондонські доповнення до Монреальського протоколу, 1990 р., Лондон, Велика Британія. Ратифіковані Росією</p>	<p>Співпраця у галузі вивчення речовин і процесів, які впливають на зміни в озоневому шарі; створення альтернативних речовин і технологій; спостереження за станом озонowego шару; співпраця у галузі розроблення та прийняття заходів, що контролюють діяльність, яка призводить до несприятливих наслідків у озоневому шарі; обмін науковою, технічною, соціально-економічною, комерційною та юридичною інформацією; співробітництво у галузі розроблення і передавання технологій та наукових знань. Заходи з регулювання споживання, виробництва та імпорту (експорту) озоноруйнівних речовин</p>	<p>Обмеження та виключення використання у системах пожежо-вибухопередження, пожежогасіння, терморегуляції, термостатування та ін. агрегатах і системах озоноруйнівних речовин, зокрема, хлор-, фторвуглеводнів (фреонів) та бромфторвуглеводнів (галонів)</p>
<p>Копенгагенське доповнення до Монреальського протоколу, 1992 р., Копенгаген, Данія. Росією не ратифіковано</p>	<p>Копенгагенське доповнення до Монреальського протоколу 1992 р. вимагало до 1996 р. повного виключення з виробництва і споживання фреонів і галонів</p>	
<p>Конвенція про біологічну різноманітність, 1992 р., Ріо-де-Жанейро, Бразилія. Ратифікована Росією в 1995 р.</p>	<p>Оголошення принципу національного права на власні природні ресурси з одночасним дотриманням прав інших держав; співпраця у галузі збереження біологічної різноманітності у регіонах, які не підпадають під національну юрисдикцію; відповідальність держав за формування та реалізацію національних стратегій, планів і програм зі збереження та раціонального використання біологічної різноманітності</p>	<p>Обмеження на місцях будівництва космодромів, відчуження РП ЧВ РН та проходження траси виведення</p>

Найменування міжнародно-правового акта, час та місце прийняття, дані про ратифікацію Росією	Основні положення	Можливі обмеження, які накладаються на космічну діяльність
Конвенція про транскордонний вплив забруднення повітря на великі відстані, 1979 р., Женева, Швейцарія. Росією ратифікована в 1983 р.	Обмін інформацією, консультаціями, результатами наукових досліджень і моніторингу, політики та стратегічних рішень; співпраця у проведенні наукових досліджень (чинні та перспективні технології зі зниження викидів, контролю та визначення об'єму емісій, вплив полутантів на здоров'я людини та навколишнє середовище, освіту), заснування виконуючого органу	Обмеження на атмосферні викиди, в тому числі аварійні, забруднювальних речовин, які утворюються під час експлуатації РКТ
Конвенція з охорони та використання транспортних водостоків та міжнародних озер, 1992 р., Гельсінкі, Фінляндія. Ратифікована Росією у 1992 р.	Обов'язки учасників щодо попередження, контролю та скорочення забруднення транскордонних вод; дотримання принципу справедливості в їх використанні; обмеження поширення забруднення; використання принципу «забрудник сплачує» як захід для попередження забруднення; співпраця у галузі досліджень та розвитку; введення моніторингу	Обмеження на скиди забруднених стоків у транкордонні водостоки та міжнародні озера
Конвенція з оцінки впливу на НПС в транспортному контексті, 1991 р., Сто, Фінляндія. Ратифікована Росією у 1991 р.	Прийняття стратегічних, юридичних та адміністративних заходів із контролю за негативним впливом; введення системи повідомлень про негативні впливи; проведення досліджень із покращання методів ОДОС	Обмеження на вплив на НПС, які мають транскордонний характер, які поширюються по території декількох держав

Примітка. Задля забезпечення виконання обов'язків РФ із Віденської конвенції про охорону озонного шару та Монреальського протоколу з речовин, які руйнують озонний шар, уряд РФ прийняв постанову 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 озоноруйнуючі речовини з 1 липня 2000 р. виробляють лише у тих випадках, коли ці речовини використовують виключно для виробництва. З 1 липня 2000 р. на території РФ заборонено створювати підприємства з виробництва озоноруйнуючих речовин.

11.3. Проблеми екологічної безпеки ракетно-космічної техніки на етапі створення

На етапі створення РКТ обов'язково слід застосовувати основні правові та організаційно-управлінські механізми охорони НПС:

- 1) проводити апріорне оцінювання дії на НПС будівництва наземних споруд та експлуатації виробів РКТ;
- 2) проводити екологічну експертизу проектних матеріалів;
- 3) укладати угоди й отримувати ліцензії на комплексне природокористування;
- 4) розробляти ліміти на природокористування і визначати рівні граничнодопустимої дії на НПС;
- 5) декларувати безпеку об'єктів РКТ;
- 6) проводити екологічну сертифікацію РКТ;
- 7) проводити екологічну паспортизацію.

Апріорне оцінювання дії російської РКТ на НПС здійснюється відповідно до Федерального закону «Про екологічну експертизу» від 23.11.95 № 174-ФЗ, який вимагає подання в Державну екологічну експертизу серед інших типових матеріалів діяльності, яка підлягає екологічній експертизі щодо оцінювання дії на навколишнє середовище. Загальна процедура оцінювання дії на навколишнє середовище проектної документації РКТ регламентується «Положенням про оцінку дії на навколишнє середовище (ОДОС) в РФ» (Наказ Мінприроди РФ № 222 від 18.07.1994 р.).

Особливості ОДОС будівництва наземних споруд для експлуатації виробів РКТ регламентуються будівельними нормами СП 11-101-95 «Порядок разработки, согласования, утверждения, состав обоснования инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений» (затверджений Мінбудом РФ 30.06.95. №18-63).

ОДОС виробів РКТ проводиться відповідно до «Макета матеріалів щодо оцінки впливу ракетно-космічної діяльності полігону (космодрому) на НПС», погодженого з Держкомекологією РФ, №13-31/860 від 22.12.1997 р.

Згідно з «Положенням про ОДОС» (1994 р.), це оцінювання обов'язково повинно проводитись при підготовці ґрунтової документації на будівництво космодромів, об'єктів 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 оцінювання дії на НПС ракетно-космічної діяльності космодрому і космічно-ракетного космодрому.

Матеріали ОДОС космодрому повинні включати:

1) загальну інформацію про космодром (природна й 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 ґрунт, флору і фауну);

4) оцінку на навколишнє 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) повинні 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 навколишнє середовище (фактори дії, дія на навколишнє середовище при підготовці до пуску, склад палив і продуктів згоряння двигунів ракети, утворення кислотних дощів, випадання продуктів згоряння на поверхню ґрунту, 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 виробу РКТ здійснюються відповідно до Закону РФ «Про охорону навколишнього природного середовища» і Федерального Закону «Про екологічну експертизу» №174-ФЗ від 23.11.95 р.

Закон «Про охорону навколишнього природного середовища» (ст. 36) декларує обов'язковість державної екологічної експертизи (ДЕЕ). Фінансування розроблення і створення об'єктів і виробів РКТ здійснюється лише за 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 проєкту або виробу РКТ.

Зразковий порядок проходження ДЕЕ наведено на рис. 11.1.

Угода про комплексне природокористування передбачає умови і порядок використання природних ресурсів, права й 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 галузі охорони НПС (місцевим органом Держкомекології РФ) із зазначенням видів, обсягів і лімітів господарської діяльності щодо використання природних ресурсів; екологічних вимог, за яких допускається використання природних ресурсів; наслідків недотримання цих вимог.

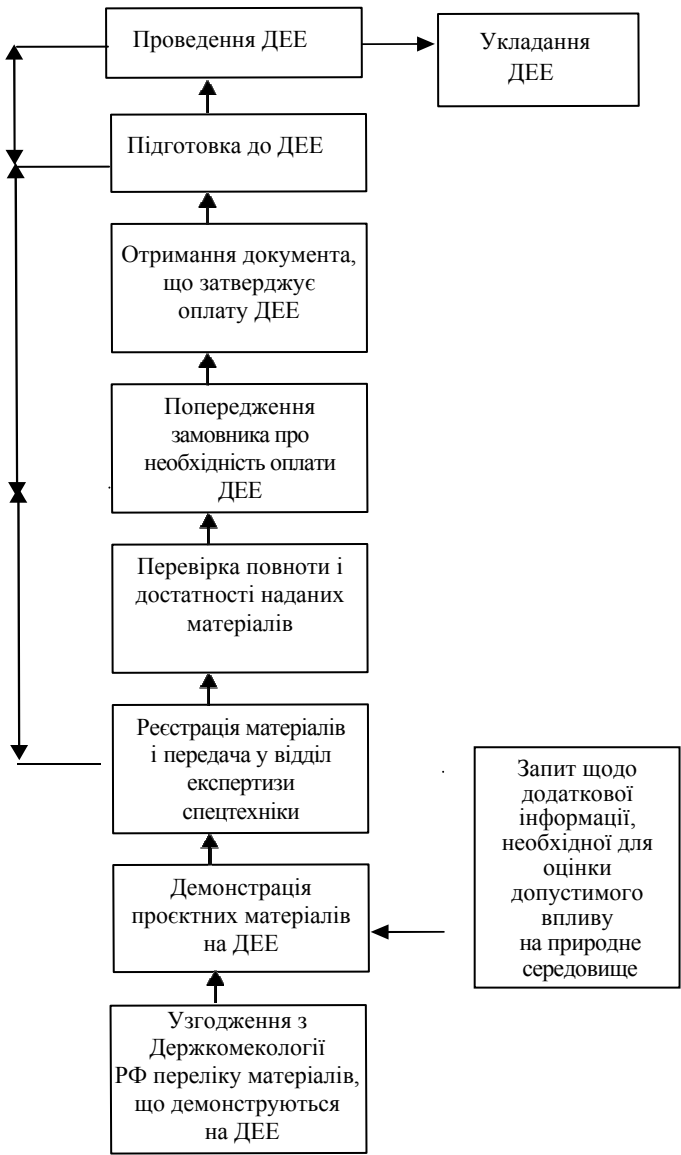


Рис. 11.1. Зразковий порядок проходження ДЕЕ проекту створювання виробу або будівництва об'єкта РКТ

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 сьогодні регулюється Постановою Уряду РФ №77 від 28.01.93, яка вводить у дію «Положення про порядок відшкодування збитків власником землі, землевласником, землекористувачем, орендаром і втрат сільськогосподарського виробництва». Постановою, зокрема, передбачено відшкодування збитків, що виникають при вилученні або тимчасовому зайнятті земельних ділянок, погіршенні якості земель, обмеженні прав власників землі і сільськогосподарських угідь.

Декларування безпеки об'єктів РКТ регламентується постановою уряду РФ від 01.07.95 р. №116-ФЗ.

Аналіз положень федерального закону «Про промислову безпеку небезпечних виробничих об'єктів» дає підстави для висновку, що обов'язково слід декларувати безпеку стартових комплексів, сховищ КРТ, заправних і заправочно-нейтралізаційних станцій, які містять понад 20 т високотоксичних речовин (гідразину і несиметричного диметилгідразину), названі об'єкти із запасами рідкого водню в кількості понад 50 т, а також перераховані об'єкти і киснево-азотні заводи, на території яких зберігається понад 200 т рідкого кисню.

Декларація безпеки об'єкта РКТ повинна містити такі розділи:

1. Загальна інформація про об'єкт і загальні заходи безпеки.
2. Аналіз безпеки об'єкта РКТ — дані про технології і апаратне 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 та 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 із визначенням кількості працюючих організацій, населених пунктів, місць масового скупчення людей (лікарень, дитячих садків і ясел, шкіл, житлових будинків, стадіонів, кінотеатрів, вокзалів, аеропортів тощо), які розміщуються в зоні дії вражаючих факторів у разі можливої аварії; зон можливого ураження із 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; перелік і 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.

До відповідних органів (штабу ЦО, Міністерства 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:

- реалізацію обов'язкових екологічних вимог природоохоронного законодавства при здійсненні господарської діяльності;
- упровадження екологічно безпечних виробництв; технологічних процесів і обладнання;
- дотримання вимог екологічної безпеки і попередження забруднення навколишнього середовища при розміщенні, переробленні, транспортуванні, ліквідації і захороненні відходів виробництва і споживання;
- попередження ввезення до країни екологічно небезпечної продукції, відходів, технологій і послуг;

- сприяння інтеграції економіки країни у світовий ринок і виконання міжнародних зобов'язань у галузі управління якістю НПС;
- встановлення статусу екологічного сертифіката і екологічного знака відповідності як документа, що гарантує дотримання вимог природоохоронного законодавства.

Слід зазначити, що реальної практики сертифікації РКТ за екологічними вимогами в РФ немає.

Робота з паспортизації промислових підприємств проводиться в країнах СНД відповідно до Постанови Верховної Ради СРСР від 27.11.89 р. «Про невідкладні заходи екологічного оздоровлення країни».

Згідно з Постановою були розроблені проекти екологічних паспортів багатьох районів падіння частин РН, що відділяються, і низки космічних ракетних комплексів.

Порядок розроблення, 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».

У структурі екологічного паспорта 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 рекультивацию порушених земель, про транспортні засоби об'єкта, про стан НПС (фонові показники), про організацію та ефективність природоохоронної діяльності (витрати на природоохоронну діяльність, відомості проузгоджені 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).

Екологічні паспорти об'єктів РКТ розробляють організації, які мають ліцензію на виконання цих робіт.

11.4. Забезпечення і контроль екологічної безпеки ракетно-космічної техніки на етапі експлуатації

Важливим природоохоронним заходом, спрямованим на забезпечення екологічної безпеки РКТ, є екологічний контроль. На цьому етапі починають діяти економічні механізми природо-

користування — плата за використання природних ресурсів, завданий екологічний збиток і, можливо, екологічне страхування.

Забезпечення екологічної безпеки експлуатації РКТ здебільшого 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 у 1999 р. Росавіакосмосом. Згідно з «Керівництвом...», екологічна безпека РКТ повинна забезпечуватися вибором території, проектуванням і будівництвом споруд технічного і стартового комплексів відповідно до вимог санітарних норм проектування промислових підприємств і санітарних правил роботи з КРТ.

Значна увага, в тому числі на Федеральному рівні, приділяється забезпеченню безпеки КА з ядерними бортовими джерелами енергії. Так, Постановою Уряду РФ від 15.08. 1997 р. № 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 08.02.95 р. і «Про поводження з радіоактивними відходами» від 30.06.95 р.

Закон РФ «Про охорону навколишнього природного середовища» (ст. 44) забороняє введення в експлуатацію підприємств, споруд та інших об'єктів, не забезпечених засобами контролю за забрудненням НПС.

Згідно із Законом «Про охорону навколишнього природного середовища» (ст. 68), завданнями 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 у районах експлуатації РКТ.

Екологічний контроль можуть здійснювати державні органи спостереження, виробничі підприємства та громадські організації.

Державне спостереження за станом НПС повинно здійснюватися засобами Єдиної державної системи екологічного моніторингу (Постанова Уряду РФ від 24.11.93 №1229 «Про створення єдиної державної системи екологічного моніторингу») і наказ Міністерства

РФ від 17.12.93 №265 про заходи щодо виконання Постанови Уряду РФ № 1229). Відповідно до Закону РФ «Про охорону навколишнього 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 позови до суду або арбітражного суду про відшкодування збитку, завданого до НПС або здоров'ю людини порушеннями природоохоронного законодавства;

7) ухвалювати 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 із Законом «Про охорону навколишнього природного середовища» (ст. 71) здійснює екологічна служба космодрому і ставить своїм завданням перевірку виконання планів і заходів з охорони природи й оздоровлення НПС щодо раціонального використання і відновлення природних ресурсів, дотримання нормативів якості НПС, виконання вимог природоохоронного законодавства.

Громадський екологічний контроль (ст. 72) здійснюють профспілки РФ та інші громадські організації і ставлять своїм завданням перевірку виконання вимог природоохоронного законодавства суб'єктами космічної діяльності.

11.4.1. Плата за використання природних ресурсів

Плата за використання природних ресурсів передбачена ст. 20 Закону РФ «Про охорону навколишнього 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 25.06.91 р. з доповненнями 1992 р.

Закон вводить плату за природні ресурси в межах встановлених лімітів. За природні ресурси (земля, надра, вода, ліс та інша рослинність, тваринний світ та інші природні ресурси) плата збирається за право користування природними ресурсами в межах встановлених лімітів, за понадлімітне і нераціональне використання цих ресурсів, на відновлення й охорону природних ресурсів.

Як за законами РФ, так і України вартісна оцінка природних ресурсів ґрунтується на двох показниках:

1) втрати на підготовку та використання (Π_1);

2) прибуток виробника, одержаний у результаті використання ресурсу (Π_2).

Перший показник Π_1 передбачає, що чим ближче до поверхні Землі сировина, тим менша її ціна. Показник Π_2 орієнтований на споживчу вартість ресурсу, враховує якість ресурсу, світові ціни, напрям використання, дефіцитність тощо. Реальна вартість ресурсу Π знаходиться в інтервалі $\Pi_2 > \Pi > \Pi_1$.

Регіональна оцінка ґрунтів урахує землекористування, властивості ґрунту, 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 саджанців 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 ґрунтується 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 № 632 від 28.08.92 «Про затвердження Порядку визначення плати і її граничних розмірів за забруднення НПС, розміщення відходів, інші види шкідливої дії», а також «Інструктивно-методичними вказівками щодо збирання плати за забруднення НПС» № 190 від 24.03.93. В Україні плата за забруднення НПС здійснюється згідно з постановою Кабінету Міністрів України від № 303 01.03.99 р. «Про затвердження порядку встановлення нормативів збору за забруднення НПС і стягнення цього збору». У РФ загальна плата за забруднення атмосферного повітря визначається за формулою:

$$\Pi^{\text{ATM}} = \Pi_{\text{H}}^{\text{ATM}} + \Pi_{\text{Л}}^{\text{ATM}} + \Pi_{\text{НЛ}}^{\text{ATM}},$$

де $\Pi_{\text{H}}^{\text{ATM}}$, $\Pi_{\text{Л}}^{\text{ATM}}$, $\Pi_{\text{НЛ}}^{\text{ATM}}$ — відповідно плата за викиди забруднювальних речовин у розмірах, що не перевищують граничнодопустимі нормативи викидів; плата за викиди забруднювальних речовин у розмірах, що не перевищують лімітних значень викидів; плата за понадлімітні викиди забруднювальних речовин (руб).

Плата за викиди забруднювальних речовин у розмірах, що не перевищують встановлені природокористувачам ГДВ, визначається множенням відповідних ставок плати одиниці маси забруднення на масу забрудника і додаванням отриманих добутоків за видами забруднювальних речовин:

$$\Pi_{\text{H}}^{\text{ATM}} = K_{\text{E}}^{\text{ATM}} \sum_{i=1}^n H_{\text{БН}i}^{\text{ATM}} M_i^{\text{ATM}}, \quad (11.1)$$

якщо $M_i^{\text{ATM}} \leq M_{\text{Н}i}^{\text{ATM}}$;

$$\Pi_{\text{E}}^{\text{ATM}} = K_{\text{E}}^{\text{ATM}} \sum_{i=1}^n H_{\text{БЛ}i}^{\text{ATM}} (M_i^{\text{ATM}} - M_{\text{Н}i}^{\text{ATM}}), \quad (11.2)$$

якщо $M_{\text{Н}i}^{\text{ATM}} < M_i^{\text{ATM}} \leq M_{\text{Л}i}^{\text{ATM}}$;

$$\Pi_{\text{НЛ}}^{\text{ATM}} = 5K_{\text{E}}^{\text{ATM}} \sum_{i=1}^n H_{\text{БЛ}i}^{\text{ATM}} (M_i^{\text{ATM}} - M_{\text{Л}i}^{\text{ATM}}), \quad (11.3)$$

де i — вид забруднювальної речовини, $i = 1, 2, 3, \dots, n$; $H_{\text{БН}i}^{\text{ATM}}$ — базовий норматив плати за викид 1 т і її забруднювальної речовини в розмірах, що не перевищують лімітних значень, руб; $H_{\text{БЛ}i}^{\text{ATM}}$ — базовий норматив плати за викид 1 т і її забруднювальної речовини в розмірах, що не перевищують лімітних значень, руб; M_i^{ATM} —

фактичний викид i -го забрудника (t); M_{Hi}^{ATM} — ГДВ i -го забрудника (t); M_{Li}^{ATM} — лімітний викид i -го забрудника (t); K_E^{ATM} — коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значущості атмосфери в даному регіоні (для Північно-Західного району РФ $K_E^{ATM} = 1,5$).

Базові нормативи плати за викиди конкретних забруднювальних речовин визначаються як добуток питомого економічного збитку від викидів забруднювальних речовин у межах допустимих нормативів або лімітів викидів Y^{ATM} на показники відносної небезпечності конкретної забруднювальної речовини для НСП і здоров'я населення A_i^{ATM} і на коефіцієнт індексації K_{iH}

$$H_{BHi}^{ATM} = K_{iH} A_i^{ATM}, \quad A_i^{ATM} = \frac{1}{ГДК_{Cдi}}, \quad (11.4)$$

де $ГДК_{Cд}$ — середньодобова концентрація забруднювальної речовини в атмосферному повітрі.

За відсутності $ГДК_{Cд}$ застосовується $ГДК_{м.р}$ — максимальна разова концентрація, а за відсутності і $ГДК_{м.р}$ застосовується орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБРВ). Коефіцієнт індексації K_{iH} вводиться у зв'язку зі зміною рівня цін на природоохоронне будівництво та на інші напрями природоохоронної діяльності. У 1998 р. коефіцієнт індексації становив $K_{iH} = 43$.

За аналогією з атмосферним повітрям загальна плата за забруднення поверхневих і підземних водних об'єктів визначається формулою:

$$\Pi^{вод} = \Pi_H^{вод} + \Pi_L^{вод} + \Pi_{HL}^{вод}, \quad (11.5)$$

де $\Pi_H^{вод}$, $\Pi_L^{вод}$, $\Pi_{HL}^{вод}$ — відповідно плата за скиди забрудників у розмірах, що перевищують допустимі нормативи скидів; плата за скиди забрудників у розмірах, що не перевищують лімітних значень скидів; плата за понадлімітні скиди забрудників (руб). Ці показники визначають за формулами:

$$\Pi_H^{вод} = K_E^{вод} \sum_{i=1}^n H_{BHi}^{вод} M_i^{вод}, \quad (11.6)$$

якщо $M_i^{вод} \leq M_{Hi}^{вод}$;

$$\Pi_L^{вод} = K_E^{вод} \sum_{i=1}^n H_{Bдi}^{вод} (M_i^{вод} - M_{Hi}^{вод}), \quad (11.7)$$

якщо $M_{Hi}^{вод} < M_i^{вод} \leq M_{Li}^{вод}$;

$$\Pi_{\text{НЛ}}^{\text{вод}} = 5K_{\text{Е}}^{\text{вод}} \sum_{i=1}^n H_{\text{БЛі}}^{\text{вод}} (M_i^{\text{вод}} - M_{\text{Лі}}^{\text{вод}}),$$

якщо $M_i^{\text{вод}} \leq M_{\text{Лі}}^{\text{вод}}$, у яких використовуються ті самі позначення, що і в (11.2)–(11.6), але належать до водних об'єктів.

За аналогією з виразом (11.5) визначають базові нормативи за скиди конкретних забрудників у воду:

$$H_{\text{БНі}}^{\text{вод}} = K_{\text{іН}} Y^{\text{вод}}, A_i^{\text{вод}}, A_i^{\text{вод}} = \frac{1}{\text{ГДК}_{\text{РГ}}},$$

де $Y^{\text{вод}}$ — питомий економічний збиток від скидів забрудників у водні об'єкти в межах допустимого нормативу скиду і ліміту (за цінами 3-го кварталу 1998 року становить 0,4435 руб/ум. т); $A_i^{\text{вод}}$ — показник відносної небезпеки i -ї речовини у воді; $\text{ГДК}_{\text{РГ}}$ — граничнодопустима концентрація забруднювальних речовин у воді об'єктів рибогосподарського призначення.

За відсутності нормативів $\text{ГДК}_{\text{РГ}}$ застосовують нормативи $\text{ГКД}_{\text{ГП}}$ (ГДК у воді об'єктів господарсько-побутового призначення) або ОБРВ.

Загальна плата за розміщення відходів визначається за формулою:

$$\Pi^{\text{ВДХ}} = \Pi_{\text{Л}}^{\text{ВДХ}} + \Pi_{\text{НЛ}}^{\text{ВДХ}},$$

де $\Pi_{\text{Л}}^{\text{ВДХ}}$, $\Pi_{\text{НЛ}}^{\text{ВДХ}}$ — плата за розміщення відходів у розмірах, що не перевищують лімітних значень, і у тих, що перевищують лімітні значення, руб.

Розмір плати розраховується аналогічно (11.2), (11.3), (11.7), (11.8):

$$\Pi_{\text{Е}}^{\text{ВДХ}} = K_{\text{Е}}^{\text{ВДХ}} \sum_{i=1}^n H_{\text{БЛі}}^{\text{ВДХ}} M_i^{\text{ВДХ}},$$

якщо $M_i^{\text{ВДХ}} \leq M_{\text{Лі}}^{\text{ВДХ}}$,

$$\Pi_{\text{НЛ}}^{\text{ВДХ}} = 5K_{\text{Е}}^{\text{ВДХ}} \sum_{i=1}^n H_{\text{БЛі}}^{\text{ВДХ}} (M_i^{\text{ВДХ}} - M_{\text{Лі}}^{\text{ВДХ}}),$$

при $M_i^{\text{ВДХ}} > M_{\text{Лі}}^{\text{ВДХ}}$,

де i — вид розміщуваного відходу, $i = 1, 2, 3, \dots, n$; $M_{\text{Лі}}^{\text{ВДХ}}$ — базовий норматив плати за розміщення i -го відходу в розмірах, що не перевищують лімітних значень, руб; $M_i^{\text{ВДХ}}$ — фактичне розмі-

щення i -го відходу, т, м³; $M_{Лі}^{ВДХ}$ — річний ліміт розміщення i -го відходу, т, м³; $K_E^{ВДХ}$ — коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значущості місця розміщення відходу (для ґрунтів Північно-Західного економічного району РФ $K_E^{ВДХ} = 1,3$).

За розміщення відходів на територіях, які належать природокористувачам, базовий норматив плати множиться на коефіцієнт 0,3. У разі розміщення відходів у межах міст, населених пунктів, водойм, рекреаційних зон і водохоронних територій застосовують коефіцієнт 5, менше 3 км від меж згаданих 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.

11.4.2. Відшкодування збитків, завданих космічною діяльністю

На відміну від плати за використання природних ресурсів питання про плату за екологічний збиток може виникати у разі аварії або екологічного правопорушення в ході космічної діяльності.

Загальноприйнятими нормативних документів, які формально визначали б розмір збитку, наразі не існує. За потреби можна орієнтуватися на підходи до визначення збитку, прийняті у «Тимчасовому порядку оцінки і відшкодування шкоди навколишньому середовищу в результаті аварії» (наказ Мінприроди РФ № 240 від 27.06.94).

Щодо космічної діяльності поняття екологічного збитку трапляється в Постанові уряду РФ № 536 від 31.05.95 «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 із космодромів і полігонів Міноборони РФ. При цьому Постановою приписується відшкодувати власникам збиток, що виникає в результаті падіння частин ракет, що відділяються. Однак у разі падіння частин ракет, що відділяються, РН про екологічний збиток може йтися лише у разі нештатного падіння частин, що відділяються, наприклад, за межами району падіння. У разі штатного падіння йдеться лише про

розміщення твердих і рідких відходів у відведеному для цього місці. У згаданій Постанові зазначено, що у разі використання РП при запусках в інтересах оборони, безпеки країни і відповідно до Федеральної космічної програми за використання РП платити не треба.

У разі комерційних запусків за разове використання РП виплачується компенсація відповідному суб'єкту РФ за формулою:

$$\sum \text{КПС} = \frac{STC}{365 \cdot 24},$$

де $\sum \text{КПС}$ — сума компенсаційної виплати, руб; S — площа РП, м²; 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 зі страхового фонду (ст. 23 Закону РФ «Про охорону навколишнього природного середовища», ст. 25 Закону РФ «Про космічну діяльність»).

11.5. Екологічна безпека ракетно-космічної техніки на етапі утилізації

Утилізація РКТ містить:

1) збирання, вивезення і повторне використання металевого 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 самі заходи щодо забезпечення і контролю екологічної безпеки, що й на етапі експлуатації. Для знищення виробів РКТ слід застосовувати технології, безпечні для навколишнього природного середовища, персоналу і населення.

Технології знищення повинні бути практично безвідходними, маловідходними, матеріало- і ресурсозаощадливими з мінімальним навантаженням на НПС.

Звід обов'язків РФ і РК відповідно до цієї Угоди наведено у табл. 11.3.

Технології знищення небезпечних виробів РКТ вибирають міжвідомчі експертні комісії на конкурсній основі.

У районах знищення виробів РКТ, які містять токсичні й радіоактивні речовини, повинен бути організований моніторинг стану НПС задля контролю за його можливими змінами.

Звід обов'язків Російської і Казахстанської сторін, відповідно до домовленості між урядом РФ і урядом РК з екології і природокористування на території комплексу «Байконур» в умовах його оренди Російською Федерацією від 4 жовтня 1997 р.

Обов'язки Російської сторони	Обов'язки Казахстанської сторони
<p>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 узгоджених термінах і обсягах; своєчасне внесення юридичними і фізичними особами платежів за понаднормативні викиди, скиди забруднювальних речовин і розміщення промислових і побутових відходів; проведення заходів з очищення районів падіння від ОЧ РН і металоконструкцій; розроблення у встановленому порядку нормативів викидів, скидів забруднювальних речовин у НПС і розміщення відходів промисловості і споживання та надання потрібних матеріалів для отримання дозволу на природокористування для нових об'єктів, що будуються;</p>	<p>Надання Російській стороні законодавчої і нормативної документації, що діє на території Республіки Казахстан; інформування населення через засоби масової інформації про негативні екологічні наслідки діяльності космодрому на підставі спільних матеріалів, підготовлених Російською і Казахстанською сторонами; проведення державної екологічної експертизи і погодження нормативів викидів, скидів забруднювальних речовин у 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 за потреби своїх представників у роботах із ліквідації негативних екологічних наслідків аварій і розливів компонентів ракетного палива; своєчасне внесення наднормативних платежів і штрафів у поза бюджетний фонд космодрому «Байконур» юридичними особами РК, що функціонують у цьому місці, за викиди, скиди забруднювальних речовин і розміщення відходів; допуск до об'єктів комплексу «Байконур» представників уповноважених державних органів РК у галузі охорони НПС для проведення контролю; ліквідація радіоактивних аварій у разі їх виникнення; державну екологічну експертизу проектних матеріалів на перспективні 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 проєктів будівництва нових і реконструкції наявних об'єктів космодрому; представників уповноважених державних органів РК у галузі охорони НПС для проведення контролю; ліквідація радіоактивних аварій у разі їх виникнення;</p>

Обов'язки Російської сторони	Обов'язки Казахстанської сторони
<p>екологічна паспортизація об'єктів космодрому: введення/виведення радіоактивних речовин, ядерних матеріалів і ядерних установок з території РФ і третіх країн через територію РК на космодром за ліцензією, виданою Казахстанською стороною; ввезення ядерних матеріалів, призначених для безповоротної відправки в космос на підставі дозволів, які видає Казахстанська сторона для транзитних перевезень</p>	<p>державна екологічна експертиза проектних матеріалів на перспективні 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 чинних об'єктів космодрому; своєчасне і повне надання інформації державних і місцевих органів виконавчої влади про аварії, пов'язані з негативними екологічними наслідками, під час підготовки і запуску РН; проведення заходів щодо ліквідації наслідків аварій, розливів компонентів ракетних палив, радіоактивних забруднень, пов'язаних з діяльністю космодрому, із допуском Казахстанської сторони</p>

11.6. Особливості правового забезпечення екологічної безпеки на космодромі «Байконур»

Після 1991 р. один із основних російських космодромів «Байконур» опинився за межами РФ — у Республіці Казахстан (РК). У зв'язку із цим виникає багато юридичних питань, у тому числі в галузі екології і природокористування, які були конкретизовані у двох угодах:

1. Угода між урядом РФ і Урядом РК про порядок використання земельних ділянок комплексу «Байконур», переданого в оренду РФ від 22.04.1996 р.

2. Угода між Урядом РФ і Урядом РК з екології і природокористування на території комплексу «Байконур» в умовах його оренди від 04.10.1997 р.

Останній документ є базовим в указаній галузі. Ст. 2 Угоди з екології і природокористування приписує підприємствам і організаціям, військовим частинам, іншим юридичним та фізичним особам, що діють 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.

Роботи з ліквідації негативних екологічних наслідків діяльності космодрому з моменту початку його оренди фінансує Російська сторона.

Угода забороняє ввозити на територію космодрому радіоактивні й токсичні речовини задля їх захоронення, утилізації, знищення або зберігання. Разом із тим низка РН, запуски яких виконуються з космодрому «Байконур» (РН «Протон», «Циклон-М», перспективні РН на базі ракет «Днепр», «Рокот», які утилізуються), заправляються токсичними КРП, у тому числі несиметричним диметилгідразином. Щоб контролювати забруднення НПС НДМГ у РК, прийнята «Тимчасова інструкція щодо здійснення державного контролю навколишнього середовища від забруднення НДМГ–РНД 211.3.ОТ.02-95», яка передбачає інспекцію майданчиків космодрому, РП, а також лабораторій, які працюють із 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:

$$Y = FK_E K_3 C,$$

де Y — економічна (вартісна) оцінка екологічного збитку від забруднення ділянки, тенге, дол. США та ін.; F — площа забрудненої ділянки, га; K_E — коефіцієнт екологічної цінності; K_3 — коефіцієнт забруднення (екологічного збитку); C — вартісна оцінка екологічної цінності 1 га еталонної екосистеми при $K_E = 1,0$, тенге, дол. США та ін.

Для екосистем суші: $K_E = B/100$, де B — бал бонітету суші; K_3 — визначається за наявністю НДМГ в рослинності і ґрунті (табл. 11.4). Показник $C = 360$ тис. дол. США/га.

Таблиця 11.4

**Характеристика втрати корисності екосистем
під час забруднення середовища НДМГ**

Вміст НДМГ у ґрунті, мг/кг	Коефіцієнт забруднення, K_3	Вміст НДМГ у ґрунті, 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

Закінчення табл. 11.4

Вміст НДМГ у ґрунті, мг/кг	Коефіцієнт забруднення, K_3	Вміст НДМГ у ґрунті, мг/кг	Коефіцієнт забруднення, K_3
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	0,33		1,0
1,0	0,35		

Для рослинності ізотокса 0,2 мг/кг, яка відповідає гранично-допустимому рівню НДМГ в рослинах, є межею дільниці з недопустимо забрудненим рослинним покривом і має $K_3 = 0,06$. Наявність НДМГ в ґрунтовому покриві навіть у дуже незначних кількостях обов'язково супроводжується перевищенням ГДР його вмісту в рослинах, які накопичують забрудник.

Під час розрахунку екологічного збитку акваторіям ураховується перевищення ГДК НДМГ у воді об'єктів господарсько-питного призначення — 0,02 мг/дм³ і рибогосподарського призначення — 0,0005 мг/дм³, за якого $K_3 = 1,0$.

Екологічна цінність водних об'єктів РК, виражена у K_3 , змінюється, як правило, в межах 0,6–0,15 за такими категоріями водних об'єктів:

1) водойми і водні системи — оазиси кінцевих розливів рік пустельної зони, водні об'єкти заповідного фонду, ландшафтно-рекреаційні унікали — $K_E = 0,6$;

2) озера й озерні системи, існуючі в режимі періодичного омолодження біоти, а також мілководдя (глибина 0–3 м) біологічно продуктивних берегових зон — $K_E = 0,38$;

3) усі річки, оліготрофні озера, водосховища, акваторії завглибшки 3–10 м — $K_E = 0,24$;

4) тимчасові водотоки і водойми, солонуваті й солоні постійні водотоки і водойми, прибережні акваторії хвилеприбійних, абразивних берегів водойм — $K_E = 0,15$.

У випадку аварії РФ призупиняє запуски ракет даного типу до з'ясування причин аварії.

Спори відносно тлумачення і застосування Угод вирішуються Підкомісією відносно космодрому «Байконур» Міжурядової комісії зі співробітництва між РФ і РК.

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. Аеродроми: конспект лекцій / В. П. Харченко, Ю. І. Миронченко. — К. : НАУ, 2011. — 96 с.
3. Акмалдінова О. М. та ін. Тематичний словник авіаційної термінології (англійська, українська, російська мови). — К. : НАУ, 2013. — 692 с.
4. Алебастров В. А., Гойхман Э. Ш., Загорин И. М. и др. Основы загоризонтной радиолокации. — М. : Радио и Связь, 1984. — 256 с.
5. Александров Э. Л., Израэль Ю. А., Кароль И. Л., А. Х. Хргиан. Озоновый щит Земли и его изменения. — СПб.: Гидрометеиздат, 1992. — 288 с.
6. 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.
7. Атмосфера: справочник (справочные данные модели) / под ред. Ю. С. Седунова. — М. : Гидрометеиздат, 1991. — 510 с.
8. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. — 384 с.
9. Безюков О. К. Газомоторное топливо на водном транспорте / О. К. Безюков, В. А. Жуков, О. И. Яценко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 31–39.
10. 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.
11. Білявський Г. О. Новий підручник з моніторингу навколишнього середовища / Г. О. Білявський, В. М. Боголюбов, В. М. Ісаєнко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. — 2012. — № 1. — С. 74–75.
12. Богдановский Г. А. Химическая экология. — М. : МГУ, 1994. — 237 с.

13. Boichenko S., Vovk O., Chernyak L., Akinina K. Quality and Ecological safety of motor fuels // Chemistry & Chemical Technology. — 2007. — № 6. — С. 109–115.

14. Бойченко С В. Оптимізація управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій під час перевезення нафтопродуктів залізничним транспортом / С. В. Бойченко, Ю. В. Зеленько // Вісник НАУ. — № 4 (45)/2010. — С. 112–117.

15. Бойченко С. В. Екологічні властивості газорідних палив / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, О. В. Полякова, О. О. Степенко // Вісник НАУ, №1(42)/2010. — С. 212–218.

16. Бойченко С. В. Рациональное использование углеводневых палив. — К. : НАУ, 2001. — 216 с.

17. Бойченко С. В. Эколого-энергетические проблемы системы «человек–окружающая среда–топливо-транспортное средство» / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, О. А. Вовк, Е. А. Спасская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2007. — № 2. — С. 28–32.

18. Бондаренко Е. В. Дорожно-транспортная экология : учебное пособие / Е. В. Бондаренко, Г. П. Дворников; под ред. А. А. Цыпуры. — Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. — 113 с.

19. 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.

20. Буриченко Л. А., Ененков В. Г., Науменко И. М., Протоерейский А. С. Охрана окружающей среды в ГА. — М. : Машиностроение, 1992. — 320 с.

21. Бутко М. П. Транспортна інфраструктура як складова туристичного потенціалу України / М. П. Бутко, Н. О. Алешугіна // Ефективна економіка. — 2009. — №3 // [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.economv.navka.com.ua.

22. Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. — 274 с.

23. 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.

24. 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.

25. Войцицкий А. П. Техноэкология: підручник / А. П. Войцицкий, В. П. Дубровський, В. М. Боголюбов; за ред. В. М. Боголюбова. — К. : Аграрна освіта, 2009. — 533 с.

26. Волошин І. М. Ландшафтно-екологічні основи моніторингу. — Львів: «Простір М», 1998. — 356 с.

27. 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.

28. Горелый К. И., Лампей В. К., Никольский А. В. Ионосферные эффекты стартов космических аппаратов//Геомagnetизм и аэрономия. — 1994. — Т. 4. — № 3. — С. 158.

29. 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.

30. Динамика электрических полей в приповерхностной зоне КА при инъекции 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.

31. ДСТУ 3432–96. Авіаційна наземна техніка. Терміни і визначення.

32. Елисеев Н. В., Смирнова Н. В., Козлов С. И. Возмущения в ионосфере при тритерных эффектах в условиях активных экспериментов в околоземном космическом пространстве // Космические исследования. — 1992. — Т. 30. — Вып. 3. — С. 351.

33. Єремєєв І. С. Моніторинг довкілля (текст) навч. посібник / І. С. Єремєєв, А. О. Дичко. — К. : Центр учбової літератури, 2016. — 500 с.

34. Жданов В. Л. Экологические проблемы автомобильного транспорта в городах: учеб. пособие [Электронный ресурс] / В. Л. Жданов. — Кемерово : КузГТУ, 2012. — 190 с.

35. Забиваний Я. О. Дослідження методів оцінки і прогнозування впливу автотранспорту на довкілля / Я. О. Забишний, Я. М. Семчук, Б. В. Долішній, В. М. Мельник // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. — 2016. — №2. — С 146–152.

36. Иванов Б. Н. Законы физики. — М. : Высш. шк., 1996. — 335 с.

37. Измерение фоновых электростатических 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.

38. Исмаилов Э. Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 160 с.

39. Калда Г. С., Савченко З. Б. Прикладний курс радіометрії і дозиметрії. — Хмельницький: ТУП, 2001. — 261 с.

40. Клименко В. В. Воздействие ракетных двигателей на верхнюю атмосферу высоких широт // Вестник АН экологии и безопасности жизнедеятельности. — СПб., 1997. — № 5. — С. 23.

41. Козин Л. Р., Волков С. В. Водородная энергетика и экология. — К. : Наук. думка, 2002. — 336 с.

42. 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.

43. Копраев А. А. Экологические свойства химических элементов и их соединений: учеб. пособие. — М. : ВА РВСН им. Петра Великого, 1998. — 120 с.

44. Космос — народному хозяйству // Сб.М. : РКА, 1996. — 256 с.

45. Кулик Н. С., Аксенов А. Ф., Яновский Л. С., Бойченко С. В., Запорожец А. И. Авиационная химмотология: топлива для авиационных двигателей. Теоретические и инженерные основы применения : учебник / Н. С. Кулик, А. Ф. Аксенов, Л. С. Яновский, С. В. Бойченко, А. И. Запорожец. — К. : НАУ, 2015. — 560 с.

46. Моторні палива: властивості та якість: підручник / С. Бойченко, А. Пушак, П. Топільницький, К. Лейда; за заг. ред. проф. С. Бойченка. — К. : НАУ, 2017. — 328 с.

47. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні властивості та якість: підручник / С. Бойченко, А. Пушак, П. Топільницький, Й. Любінін, К. Лейда; за ред. проф. С. Бойченка. — К. : Центр учбової літератури, 2019. — 323 с.

48. 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.

49. Маршалл В. Основные опасности химических производств. — М. : Мир, 1989. — 671 с.

50. 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.

51. Міщенко М. І. Загальний курс транспорту: навч. посібник / М. І. Міщенко. — Донецьк : Норд-прес, 2010. — 323 с.
52. Монин А. С., Яглан А. М. Статистическая гидромеханика. — СПб: Гидрометеоздат, 1992. — 694 с.
53. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища : навч. посібник / В. М. Ісаєнко, Г. В. Лисиченко, Т. В. Дудар та ін. — К. : НАУ-друк, 2009. — 312 с.
54. Мягченко О. П. Основи екології : підручник / О. П. Мягченко. — К. : Центр учбової літератури, 2010. — 312 с
55. 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.
56. Нагорский П. М., Тарашук Ю. Е. Искусственная модификация ионосферы при стартах ракет, выводящих на орбиту космические аппараты // Изв. вузов. Физика. — 1993. — Т. 36. — № 10. — С. 98.
57. Нагорский П. М., Цыбиков Б. Б. Крупномасштабные непреднамеренные волновые возмущения ионосферы // Физические проблемы экологии (Физическая экология). — М. : Изд. МГУ, 1998. — Вып. 1. — С. 49.
58. Назаренко А. И. Аэродинамическая аналогия взаимодействия поверхности космических аппаратов разной формы с космическим мусором // Космические исследования. — 1996. — Т. 34. — № 3. — С. 317.
59. Назаренко А. И. Моделирование эволюции распределения техногенных частиц и объектов // Проблемы загрязнения космоса (космический мусор). Институт астрономии РАН. Космосинформ, 1993. — С. 114.
60. Научно-технический сборник по проблемам военной экологии. — СПб.: Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт, 1995. — 496 с.
61. Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир. — М. : Мир, 1993. — 424 с.
62. Основи акустичної екології / В. Г. Дідковський, В. Я. Акименко, О. І. Запорожець та ін. — Кіровоград : ПВЦ ГОС «Імекс ЛТД», 2002. — 520 с.
63. Парунакян В. Э. Общий курс транспорта / В. Э. Парунакян, М. В. Хара. — Мариуполь : Рената, 2010. — 223 с.

64. Пономаренко В. К. Ракетные топлива. — СПб. : Военная инженерно-космическая Краснознаменная академия им. А. Ф. Можайского, 1995. — 620 с.

65. Постников А. Г., Чуйко В. С. Внешняя баллистика неуправляемых авиационных ракет и снарядов. — М. : Машиностроение, 1985. — 248 с.

66. Применение авиации в сельском и лесном хозяйстве / В. А. Назаров, С. Г. Старостин, С. Д. Попов и др. — М. : Транспорт, 1975. — 312 с.

67. Радомська М. М. Авіаційна екологія: навч. посібник / М. М. Радомська, Л. М. Черняк, С. В. Бойченко, О. В. Рябчевський, Л. І. Павлюх. — К. : НАУ, 2014. — 152 с.

68. Романов В. И. Характеристики клуба продуктов сгорания стартующей ракеты // Космические исследования. — 1995. — Т. 38. № 3. — С. 263.

69. 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.

70. 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.

71. Спиркин В. Г. Химмотология: учеб. пособие / В. Г. Спиркин, И. Р. Татур, Б. П. Тонконогов, С. В. Бойченко. — М., 2015. — 250 с.

72. 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. — К. : КГУ, 1993. — С. 171.

73. Суржиков С. Т. Тепловое излучение крупномасштабных кислородноогневых шаров: Исследование вычислительных моделей // Теплофиз. выс. темп. — 1997. — Т. 35. № 4. — С. 584.

74. Суржиков С. Т. Тепловое излучение крупномасштабных кислородоводородных огневых шаров: анализ проблемы и основные результаты // Теплофиз. выс. темп. — 1997. — Т. 35. № 3. — С. 416.

75. Суржиков С. Т. Полуэмпирическая модель динамики и излучения крупномасштабных огневых шаров, образующихся при авариях ракет // Теплофиз. выс. темп. — 1997. — Т. 35. № 6. — С. 932.

76. Транспортна екологія: навч. посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвеева, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха,

С. М. Маджд; за заг. ред. С. В. Бойченка. — К. : Центр учбової літератури, 2017. — 508 с.

77. Филин В. М. Экологические проблемы ракетно-космической техники // Экологические проблемы создания и применения ракетно-космической техники. — М. : НПО «Энергия», 1991. — С. 10.

78. Филин В. М. Экологические проблемы ракетно-космической техники // Экологические проблемы создания и применения ракетно-космической техники. — М. : НПО «Энергия», 1991. — С. 10.

79. Филин В. М., Бурдаков В. П. Глобальная экологическая угроза // Авиация и космонавтика. — 1989. № 7. — С. 28.

80. Франчук Г. М., Малахов Л. П., Півторак Р.М. Екологічні проблеми довкілля. — К. : КМУЦА, 2000. — 180 с.

81. Франчук Г. М. Екологія, авіація і космос / Г. М. Франчук, В. М. Ісаєнко. — К. : НАУ, 2009. — 294 с.

82. Франчук Г. М., Дудар Т. В., Матвеева О. Л. Загальна екологія: підручник. — К. : НАУ, 2014. — 320 с.

83. Химмотология ракетных и реактивных топлив / под ред. А. А. Браткова. — М. : Химия, 1987. — 304 с.

84. Хорват Л. Кислотный дождь. — М. : Стройиздат, 1990.

85. Чельшев В. П., Шехтер Б. И., Шушко Л. А. Теория горения и взрыва / под ред. Б. И. Шехтера. — М. : МО СССР, 1970. — 521 с.

86. Ядерная энергетика в космосе // тез. докладов конференции. Ч. 2. — доклады иностранных специалистов. Обнинск: Министерство ядерной энергетики СССР, 1991. — 367 с.

87. Яковлева А. В. Влияние качества авиационных топлив на безопасность полета и окружающую среду / А. В. Яковлева, С. В. Бойченко, О. А. Вовк // Наука та інновації, НАН України. — 2013. — № 4. — Т. 9. — С. 25–30.

88. Яковлева А. В. Використання біокеросину з метою покращення екологічних характеристик роботи авіаційних двигунів / А. В. Яковлева, С. В. Бойченко // Авиационно-космическая техника и технология. — Харьков «ХАИ». 2012. — №7(94). — С. 60–64.

89. The problems of biopollution with jet fuel sand the way of achivingsolution / Boichenko S., Shkilniuk I., Turchak V. // Transport. — 2008. — № 23 (3). — P. 253—257. DOI:10.3846/1648-4142.2008.23.253-257.

90. Iakovlieva A., Boichenko S., Gay A. Cause-Effect Analysis of the Modern State in Production of Jet Fuels // Journal of Chemistry & Chemical Technology. — 2014. — Vol. 8. — № 1. — P. 107–116.

91. Iakovlieva A. V., Boichenko S. V., Vovk O. O. Overview of innovative technologies for aviation fuels production // *Chemistry and chemical technology*. — 2013. — Vol. 7. — № 3. — P. 305–312.
92. Iakovlieva A., Vovk O., Boichenko S., Lejda K., Kuszewski H. Physical-chemical properties of jet fuels blends with components derived from rapeseed oil // *Chemistry and Chemical Technology*. — 2016. — Vol. 10. — No4. — P. 485–492.
93. Yakovleva A.V., Boichenko S.V., Lejda K., Vovk O.A., Kuszewski Kh. Antiwear Properties of Plant—Mineral-Based Fuels for Airbreathing Jet Engine // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. — 2017. — Vol. 53. — Iss. 1. — P. 1–9.
94. Iakovlieva A., Boichenko S., Lejda K., Vovk O., Shkilniuk I. Vacuum Distillation of Rapeseed Oil Esters for Production of Jet Fuel Bio-Additives. // *Procedia Engineering*, 2017. Vol. 187. P. 363–370 DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.387
95. Yakovleva A.V., Boichenko S.V., Lejda K., Vovk O.A., Kuszewski Kh. Influence of Rapeseed Oil Ester Additives on Fuel Quality Index for Air Jet Engines // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. — 2017. — Vol. 53. — Iss. 3. — P. 308–317.
96. Yakovleva A.V., Boichenko S.V., Lejda K., Vovk O.A. Comparative characteristics of flow-temperature properties of jet fuels modified with bio-additives // *International Automotive Conference (KONMOT2018)*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 421 (2018) DOI:10.1088/1757-899X/421/3/032003.
97. Iakovlieva A., Boichenko S., Vovk O., Lejda K. Potential of jet biofuels production and application in Ukraine and Poland // *International Journal of Sustainable Aviation*. — 2015.— Vol. 1. — № 4. — P. 314–323. DOI:10.1504/IJSA.2015.074728.
98. Yakovlieva A., Boichenko S., Vovk O., Lejda K., Gryshchenko O. Case Study of Alternative Jet Fuel Production with Bio-additives from Plant Oils in Ukraine and Poland / *Advances in Sustainable Aviation*. Springer International Publishing, 2018. Chapter 4.
99. Ehhalt D. H., Rohrer F., Wahner A. Sources and distribution of Nox in the upper troposphere at northern mid-latitudes // *J. Geophys. Res.* 1992. V. 97. — P. 3725.
100. Karol I. L., Ozolin Y. E., Rozanov E. V. Effect of space rocket launches on ozone // *Ann. Geophys.* — 1992. — V. 10. — P. 810.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП.....	4
Розділ 1. ОСОБЛИВОСТІ ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ТА ФОРМУВАННЯ АВІАТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ ..	10
1.1. Загальна характеристика різних видів транспорту.....	13
1.2. Історія розвитку авіатранспортного комплексу.....	35
1.3. Характеристика сучасного авіаційного транспорту України	37
1.4. Технічно-експлуатаційні властивості авіаційного транспорту.....	39
Розділ 2. ВПЛИВ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ	44
2.1. Вплив наземних джерел авіаційного транспорту на навколишнє природне середовище	44
2.2. Вплив повітряних джерел авіаційного транспорту на навколишнє природне середовище	45
2.2.1. Загальна характеристика викидів шкідливих речовин літаками.....	45
2.2.2. Викиди шкідливих речовин маршевими двигунами літаків	49
2.3. Викиди шкідливих речовин під час експлуатації підприємств авіапаливозабезпечення	54
2.4. Способи зниження екологічної небезпеки від викидів пари нафтопродуктів	58
2.5. Витікання нафтопродуктів на підприємствах паливозабезпечення та методи їх скорочення	61
Розділ 3. ПОВІТРЯНЕ СУДНО ЯК ДЖЕРЕЛО ЗАБРУДНЕННЯ	67
3.1. Особливості забруднення ґрунтового покриву.....	67
3.1.1. Хімічне забруднення ґрунтового покриву	69
3.1.2. Механічне забруднення ґрунтового покриву.....	69
3.1.3. Радіоактивне забруднення ґрунтового покриву	71

3.2. Особливості забруднення водних об'єктів.....	79
3.3. Енергетичне забруднення	81
3.3.1. Електромагнітне забруднення	82
3.3.2. Шумове забруднення від авіаційного транспорту.....	84
Розділ 4. ВПЛИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА ПРИЗЕМНІ ШАРИ АТМОСФЕРИ, ТРОПОСФЕРУ ТА НИЖНЮ СТРАТОСФЕРУ	92
4.1. Випадіння кислотних опадів під час експлуатації ракетно-космічної техніки	92
4.2. Утворення продуктів згоряння в зоні розташування стартового комплексу.....	94
4.3. Випаровування виливів компонентів ракетного палива ..	96
4.3.1. Виробництво КРП на заводі-виробнику.....	96
4.3.2. Перевезення КРП залізничним транспортом.....	97
4.3.3. Перекачування КРП	97
4.3.4. Перевезення КРП автотранспортом	97
4.3.5. Зберігання КРП у резервуарах, ємкостях і баках виробів	98
4.3.6. Штатне падіння відокремлюваних частин РН.....	98
4.3.7. Викиди компонентів палив і продуктів їх згоряння під час роботи рідинних ракетних двигунів та ракетних двигунів на твердому паливі	98
4.4. Викиди рідких ракетних палив в атмосферу.....	99
4.5. Електромагнітні забруднення районів експлуатації ракетно-космічної техніки	105
4.6. Теплове забруднення в зоні експлуатації ракетно-космічної техніки	107
4.7. Акустичне забруднення під час експлуатації ракетно-космічної техніки	108
4.8. Радіоактивне забруднення	109
Розділ 5. ВПЛИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА ІОНОСФЕРУ І ВЕРХНЮ АТМОСФЕРУ ЗЕМЛІ	115
5.1. Зміни в іоносфері під впливом ракетно-космічної техніки	115
5.2. Збурення хвиль у нейтральному газі виробами ракетно-космічної техніки	119

5.3. Явища в іоносферній плазмі, викликані дією ракетно-космічної техніки	119
5.4. Вплив запуску і функціонування ракетно-космічної техніки на поширення радіохвиль.....	120
5.5. Оптичні явища під час експлуатації ракетно-космічної техніки	122
5.6. Вплив на іоносферу продуктів згоряння двигунних установок з рідким і твердим паливом	123
5.7. Вплив геліогеофізичних умов під час запусків ракет та характеристики іоносфери	123
5.8. Тригерні ефекти в іоносфері під час запуску ракет.....	128
5.9. Вплив запусків ракет на нейтральний склад верхньої атмосфери.....	130

Розділ 6. ВПЛИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА ОЗОНОВИЙ ШАР ЗЕМЛІ

6.1. Механізми руйнування озону під час запусків ракет	137
6.2. Вплив на озон факела ракетного двигуна і головної ударної хвилі	141
6.3. Дія продуктів згоряння ракетних палив на стратосферний озон	143
6.3.1. Локальна дія пусків РН на стратосферний озон.....	143
6.3.2. Регіональна і зональна дії на озон продуктів згоряння ракетних палив	146
6.3.3. Глобальна дія на озон продуктів згоряння ракетних палив.....	147
6.3.4. «Тригерні» ефекти в озоновому шарі під час запусків ракет	150
6.4. Оцінювання впливу ракетно-космічної техніки на загальне руйнування озону	151

Розділ 7. ВПЛИВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА НАВКОЛОЗЕМНИЙ ПРОСТІР

7.1. Вплив двигунних установок ракет-носіїв і розгінних блоків	159
7.2. Вплив плазмових двигунних установок космічних апаратів	163
7.3. Вплив ядерних енергетичних установок на навколосферний космічний простір.....	165

Розділ 8. УТИЛІЗАЦІЯ КОСМІЧНОГО ТРАНСПОРТУ, ЩО ВИЙШОВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ	172
8.1. Вплив космічної діяльності на екологічний стан біосфери Землі	172
8.2. Вплив антропогенного фактора на навколоземний простір та екологію біосфери	176
8.3. Джерела техногенного забруднення навколоземного простору	183
8.4. Забруднення навколоземного простору твердими фрагментами («космічним сміттям»)	187
8.5. Екологічний вплив космічної діяльності на приземну атмосферу	193
Розділ 9. ПРОБЛЕМА «КОСМІЧНОГО СМІТТЯ» В НАВКОЛОЗЕМНОМУ ПРОСТОРИ	198
9.1. Наслідки освоєння навколоземного космічного простору і контроль забруднення	198
9.2. Просторовий розподіл штучних об'єктів області низьких орбіт	201
9.3. Техногенне забруднення області геостаціонарних орбіт ..	205
9.4. Характеристики відносного потоку космічних об'єктів і прогноз техногенного забруднення навколоземного простору ..	208
9.5. Основні напрями запобігання забруднення «космічним сміттям»	216
9.6. Утилізація «космічного сміття»	218
Розділ 10. ПРИРОДООХОРОННІ ЗАХОДИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ	221
10.1. Методи та засоби захисту компонентів навколишнього середовища від авіаційного шуму, електромагнітних випромінювань радіочастот	235
10.1.1. Оцінювання стану атмосфери в районі аеропорту за аналізом опадів	235
10.1.2. Розрахунок атмосферних викидів	236
10.1.3. Метод розрахунку викидів маршевыми двигунами літаків	238
10.1.4. Детальний метод розрахунку викидів маршевыми двигунами літаків	239

10.1.5. Розрахунок викидів шкідливих речовин допоміжними силовими установками	242
10.1.6. Розрахунок викидів шкідливих речовин під час наземних операцій в аеропортах	243
10.2. Групи природоохоронних заходів	244
10.2.1. Заходи зі зниження негативного екологічного впливу під час проектування та експлуатації транспортного комплексу	245
10.2.2. Використання альтернативних видів палива та енергії	245
10.3. Заходи щодо зниження впливу на навколишнє природне середовище пересувних та стаціонарних джерел забруднення на транспорті	253
10.3.1. Заходи щодо зниження шуму на транспорті.....	256
10.3.2. Заходи в зонах аварій транспортних засобів	261
10.3.3. Функції управління екологічною діяльністю	263
10.3.4. Екологічний облік	264
10.3.5. Екологічне страхування, ліцензування та сертифікація	267
10.4. Елементи управління природоохоронною діяльністю на авіаційному транспорті	272
Розділ 11. НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧНІ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ	278
11.1. Розроблення лімітів на природокористування.....	278
11.2. Забезпечення екологічної безпеки космічної діяльності	284
11.3. Проблеми екологічної безпеки ракетно-космічної техніки на етапі створення.....	288
11.4. Забезпечення і контроль екологічної безпеки ракетно-космічної техніки на етапі експлуатації	294
11.4.1. Плата за використання природних ресурсів.....	297
11.4.2. Відшкодування збитків, завданих космічною діяльністю.....	301
11.5. Екологічна безпека ракетно-космічної техніки на етапі утилізації.....	302
11.6. Особливості правового забезпечення екологічної безпеки на космодромі «Байконур»	304
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	307

Навчальне видання

ІСАЄНКО Володимир Миколайович
БОЙЧЕНКО Сергій Валерійович
БАБІКОВА Катерина Олександрівна
ВОВК Оксана Олексіївна

ЗАХИСТ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
В АВІАТРАНСПОРТНИХ
ПРОЦЕСАХ

Підручник

Редактори: *З. О. Остап'юк, Р. М. Шульженко,
Л. М. Дудченко, Н. М. Гурович*
Технічний редактор *А. І. Лаєринович*
Коректор *О. О. Крусь*
Комп'ютерна верстка *Н. В. Чорної*

Підп. до друку 11.02.2020. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 18,6. Обл.-вид. арк. 20,0.
Тираж 50 прим. Замовлення № 5-1.

Видавець і виготівник
Національний авіаційний університет
03680. Київ-58, проспект Космонавта Комарова, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002