# Струминні течії нижніх рівнів над Україною

Івус Г.П., Савченко Т.С., Семергей-Чумаченко А.Б.
Одеський державний екологічний університет, Одеса, Україна

# Low level jets over Ukraine

Galyna Ivus, Tatiana Savchenko, Alina Semergey-Chumachenko
Odessa State Environmental University, Ukraine

**Вступ**

Вимоги до безпеки господарської, авіакосмічної та інших сфер антропогенної діяльності в нижньому 2-х кілометровому шарі атмосфери, необхідність моніторингу рівня забруднення повітря і забезпечення захисту населення у випадках техногенних і природних катастроф, зв'язок струминної течії нижніх рівнів (СТНР) з небезпечними та стихійними гідрометеорологічними явищами роблять проблему детального вивчення режиму температурно-вітрових аномалій першочерговою.

Метою дослідження є вивчення процесів виникнення високих швидкостей вітру в нижній тропосфері, аналіз структурних параметрів низьких струменів, оцінка сприятливості комплексу синоптичних та метеорологічних умов до створення СТНР.

Актуальність представленої роботи визначається необхідністю виявлення причин виникнення і розвитку такого небезпечного явища, як струминна течія нижніх рівнів.

Оскільки струминні течії нижніх рівнів утворюються у різноманітних аеросиноптичних умовах, що відрізняються широким спектром характеристик полів метеорологічних величин, то всебічний аналіз фізичних механізмів виникнення низьких струменів та явищ різних масштабів, що передують і супроводжують СТНР, є одним з важливих етапів на шляху до розробки нових і удосконалення існуючих методів їх діагнозу і прогнозу (Ивус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б., 1999,1996 гг.).

Ураганні вітри на висотах вперше були зареєстровані в 20-х роках XX ст., але це були епізодичні спостереження, і їм не надали великого значення. Точних знань про розподіл сильних потоків у верхніх шарах тропосфери не було виявлено аж до 1933 р., коли Бьеркнес побудував меридіональні розрізи, використовуючи температурне зондування на декількох, станціях ( Ивус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. 1998,1999 гг.).

За визначенням Всесвітньої метеорологічної організації: струминна течія (СТ) – це сильний вузький потік з майже горизонтальною віссю у верхній тропосфері або нижній стратосфері, що характеризується великими вертикальними і горизонтальними зсувами вітру в одному або більш максимумами швидкості.

Довжина СТ тисячі кілометрів, ширина – сотні кілометрів, вертикальна потужність – декількох кілометрів. Умовно за нижню межу СТ беруть швидкість 30 $м \cdot с^{-1}$. Вказана межа швидкості вибрана з урахуванням того, що вітер, що перевищує 100 км/ч, робить помітний вплив на путню швидкість літаків, що літають в зоні СТ.

У нижній тропосфері в межах граничного шару також спостерігаються значні зони сильних вітрів (мезоструйні течії). Їх протяжність у напрямку по потоку зазвичай складає декілька сотень кілометрів, тому назва «мезотечія» не є коректним.

Вибір значення максимуму швидкості на осі струменя обумовлений тим, що для авіації небезпечними є вітри більше 15 $м \cdot с^{-1}$, і особливо небезпечна наявність таких посилень вітру на малих висотах, тому що на них здійснюється зліт і посадка повітряних суден, політ на гранично малих висотах тощо. Існує деяка невизначеність із самою назвою явища. Так, термін СТНР уперше ввів Л.Л. Мінс в 1944 р. Крім цього використовується термін "мезоструміньі", тому що явище звичайно відноситься за своїм просторовим і часовим масштабом до мезо-діапазону β (за шкалою І. Орланскі від 25 до 250 км та від 1 год до 1 доби). Однак СТНР може зберігатися протягом декількох діб і, таким чином, виходити за часові рамки мезомасштабу, тому дана термінологія може бути не завжди коректною. Крім цього, застосо-

вуються також інші терміни: струминна течія на малих висотах, струминна течія ГША, тропосферний мезострумінь, низькотропосферний струмінь, мезомасштабні вітрові струмені і низькі струмені.

Однак, незважаючи на розбіжності у визначеннях цих течій звичайно використаються наступні параметри, що характеризують просторову і динамічну структуру СТНР (рис. 1):

- потужність СТНР – різниця між висотами в ГША, де швидкість вітру не менше ніж 15 $м \cdot с^{-1}$ ($\Delta H$, м);
- висота осі СТНР – рівень максимуму швидкості вітру ($H_0$, м);
- інтенсивність СТНР – швидкість вітру на осі струменя ($V_0$, $м \cdot с^{-1}$).

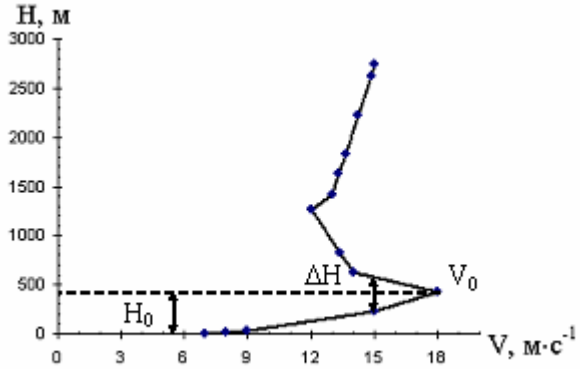


**Рисунок 1.** Схематичне зображення структурних параметрів СТНР

Оскільки розподіл характеристик СТНР відрізняється від нормального (Ивус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. 1998,1999 гг.), доцільно використовувати поряд із середніми значеннями модальні. Модальні значення основних характеристик низьких струменів зміщені убік більш низьких величин. Так, якщо в середньому швидкість вітру на осі струменя над Україною складає 19-20 $м \cdot с^{-1}$, то її найбільш імовірні значення коливаються від 16 до 18 $м \cdot с^{-1}$.

**Методика дослідження**

У представленому дослідженні розглядаються дані двохразового (00 і 12 UTC) радіозондування над 9-ю станціями України (Київ, Одеса, Харків, Кривий Ріг, Сімферополь, Шепетівка, Чернівці, Львів, Ужгород).

Основні методи дослідження:

- синоптико-кліматологічний аналіз;
- фізико-статистичний аналіз;
- просторово-часове узагальнення даних;

**Отримані результати**

При вивченні того чи іншого метеорологічного явища традиційно проводять аналіз його повторюваності залежно від пори року й доби, певних метеорологічних умов і синоптичних ситуацій. Такий підхід дозволяє виявити деякі закономірності, що характеризують досліджуване явище, його генезис і еволюцію.

Струминні посилення вітру в нижніх шарах атмосфери поширені практично повсюди і відзначаються відносно рідко - від 2 до 15 % від загального числа радіозондувань протягом року. Як правило, СТНР зберігаються впродовж 1-2 строків зондування, і лише в окремих випадках – 24 год. і більше. Час існування СТНР визначається типом і тривалістю наявної синоптичної ситуації. Так, рекордна тривалість цього явища - більше 4 діб (102 год) була зафіксована над Сімферополем у 1979 р. в умовах стаціонарного антициклону, що зберігався протягом цього періоду.

Добовий хід повторюваності вітрових аномалій над більшістю досліджених регіонів приблизно однаковий – вночі вони спостерігаються частіше.

За матеріалами багаторічних досліджень цього питання над більшістю регіонів Землі характерною рисою процесів розвитку СТНР є річний хід його повторюваності та основних структурних параметрів. Особливо ця закономірність властива для України і європейської частини Росії – максимум переважно приходиться на зимові місяці, а мінімум – на літні. Так, над Сімферополем, Харковом, Шепетівкою і Києвом взимку СТНР спостерігаються у 3…8 разів частіше, ніж влітку, що, імовірніше за все, обумовлено або наявністю в холодний період року могутніх радіаційних інверсій в антициклоні, або проходженням над територією України активних південних та атлантичних циклонів.

Потужність низьких струменів коливається від 200-300 влітку до 500-600 м взимку (табл.1), інтенсивність – 16-17 м·с$^{-1}$ влітку і 18-19 м·с$^{-1}$ взимку. Найчастіше низькі струмені розташовуються на висотах 400-500 м, у залежності від рельєфу місцевості. В цілому, над Україною переважають струмені західних напрямків.

В області низького струменя, як правило, формуються слабкі вертикальні зсуви вітру, хоча в окремих випадках можуть виникати сильні і дуже сильні.

**Таблиця 1.** Повторюваність (Р) та середні значення структурних параметрів СТНР над Україною (1995-2005 рр.)

| Пункт | Р, % | | $V_0$, м·с$^{-1}$ | | $V_{max}$, м·с$^{-1}$ | | ΔН, м | | $H_0$, м | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ніч | день | ніч | день | ніч | день | ніч | день | ніч | день |
| Київ | 6 | 5 | 21 | 20 | 30 | 29 | 460 | 500 | 840 | 900 |
| Кривий Ріг | 7 | 4 | 19 | 20 | 38 | 34 | 590 | 450 | 450 | 440 |
| Львів | 7 | 8 | 19 | 19 | 36 | 36 | 330 | 310 | 620 | 670 |
| Одеса | 9 | 8 | 20 | 19 | 36 | 33 | 540 | 460 | 590 | 730 |
| Сімферополь | 4 | 4 | 20 | 19 | 34 | 34 | 500 | 460 | 800 | 790 |
| Ужгород | 6 | 4 | 18 | 21 | 32 | 55 | 500 | 580 | 1180 | 1380 |
| Харків | 3 | 6 | 20 | 19 | 31 | 33 | 600 | 520 | 740 | 850 |
| Чернівці | 6 | 4 | 21 | 19 | 37 | 29 | 590 | 450 | 860 | 850 |
| Шепетівка | 7 | 4 | 20 | 20 | 34 | 30 | 570 | 560 | 990 | 1040 |

Інтенсивність низькотропосферних струменів збільшується від літа до зими – 17-20 і 18-22 м·с$^{-1}$, відповідно. Над Україною виникнення найбільш інтенсивних СТНР в холодне півріччя, як правило, спостерігається при виході південних і проходженні активних північно-західних циклонів. Для порівняння, над північними районами Східноєвропейської рівнини формування інтенсивних низьких струменів пов’язано з перебудовою баричного поля в перехідні сезони. Таким чином, тип і активність баричних утворень, що визначають погодні умови над окремою територією, в значній мірі обумовлює інтенсивність низьких струменів. Також прослідкується залежність від географічного розташування станції і особливостей ландшафту – над регіонами зі складною орографією частіше формуються інтенсивні СТНР. Так, максимальна швидкість вітру на вісі струменя над Україною за останні 25 років зафіксована над Ужгородом – 55 м·с$^{-1}$, тоді як, в середньому, інтенсивність струменів над цим пунктом складає 17...19 м·с$^{-1}$ ( Ивус Г.П., Хаджи-Страти Е.Д. 2000 г).

У холодний період року над територією України СТНР пов’язані з піднесеними інверсіями, що розташовані над віссю струменя, у теплий період року - з приземними інверсіями. В усі сезони відзначається збільшення кількості низьких струменів у сполученні з інверсією, з півночі (Київ – 70%), на півдні (Одеса – 79%). Найбільш виражені затримуючі шари, що супроводжують низькі струмені, виявляються або в передній частині циклону при

проходженні теплих фронтів взимку, або в областях підвищеного тиску. (Ивус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. , 1998 г.).

Оскільки вертикальний профіль швидкості вітру в період існування СТНР приймає різноманітний характер, запропонована типізація низьких струменів у залежності від зміни швидкості і напрямку вітру вище і нижче осі течії. В окремий тип виділені СТНР, при яких градієнти швидкості вітру вище і нижче осі течії менш ніж 4 $м \cdot с^{-1}$ на 300 м, але швидкість вітру на осі перевищує 15 $м \cdot с^{-1}$.

При формуванні низьких струминних течій виникають ситуації, коли швидкість приземного вітру не перевищує 4 $м \cdot с^{-1}$. Такий розподіл швидкості вітру в нижніх шарах атмосфери може привести до нагромадження шкідливих домішок, оскільки при слабкому вітрі біля землі погіршуються умови горизонтального переносу домішок, а СТНР виконає роль "замикаючого" шару, що перешкоджає вертикальному обміну. Зазначений тип струменів складає приблизно третину усіх випадків. Ці течії менш інтенсивні і розташовані, як правило, вище ніж звичайно і практично завжди (90 %) пов'язані з затримуючими шарами. Зсуви вітру спостерігаються тут більш інтенсивні за рахунок значного повороту вітру в шарі інверсії і невеликої швидкості вітру біля поверхні землі і, отже, представляють велику небезпеку для авіації. (Семергей-Чумаченко А.Б. 2007 г).

Низькотропосферні струмені формуються в різних макроциркуляційних умовах. В основному СТНР (у середньому по Україні від 65 до 70 % випадків) спостерігаються при циклонічному характері циркуляції: у тиловий, передній частинах і теплому секторі циклона, улоговини). У південному напрямку збільшується відсоток антициклональних струменів. У Сімферополі, самому південному пункті України, у гребені відмічено найбільший відсоток СТНР – 20 % випадків протягом року. Крім того, низькі струмені формуються в малоградієнтному полі і перехідній зоні між областями високого і низького тиску (від 4 до 15 % випадків).

Різноманітність макроциркуляційних умов формування низькотропосферних струменів свідчить про те, що в утворенні струменів беруть участь різні фізичні механізми. Це підтверджує залежність структурних параметрів СТНР від синоптичної ситуації. Так, над територією України в циклонах швидкість вітру на осі і потужність струменів у середньому більше ніж в антициклонах.

Багаторічні спостереження показують, що в 55-65 % випадків СТНР над Україною пов'язані з фронтальними розділами, і ця залежність збільшується від теплого сезону до холодного, найчастіше низькі струмені утворюються на теплих фронтах.. Так, для Одеси в холодне півріччя 30 % СТНР відзначені на теплих фронтах; 25 - на холодних і 8 - на фронтах оклюзії. У тепле півріччя відповідно: 26, 21 і 7 %.

Низькотропосферні струмені, що виникають на фронтальних розділах, як правило, розташовуються перед холодними і теплими фронтами паралельно їм, однак нерідко струмені спостерігаються в зафронтальній повітряній масі та у більшості випадків не пов'язані із струминною течією верхньої тропосфери і являють собою самостійне явище.

**Висновки**

Виявлена особливість географічного розподілу повторюваності вказаного комплексу явищ. Так, якщо протягом усього року над південними районами України низькі струмені супроводжуються затримуючими шарами в 79 і 80% випадків - Одеса і Сімферополь, відповідно, то над Києвом повторюваність знижується до 70%. Ця закономірність характерна для всієї ЄТР, оскільки над Москвою лише 67% СТНР спостерігається в сполученні з інверсіями, тоді як над Кишиневом з інверсіями пов’язано 82% низьких течій.

Найбільш інтенсивні СТНР формуються в області холодних фронтів, а найбільш потужні – в області теплих. Взагалі структура фронтальних СТНР визначається типом атмосферного фронту, його активністю, орієнтацією, швидкістю пересування, відстанню від фронту і географічним фактором.

**Список використаної літератури**


Ивус, Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. 1996. Применение уравнений энергии к исследованию СТНР. *Метеорология, климатология и гидрология* 33: 57-62.

Ивус, Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. 1998. К вопросу о струйных течениях нижних уровней над Одессой. *Метеорология, климатология и гидрология* 35: 121-129.

Ивус, Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. 1998. Некоторые параметры аномальных метеорологических условий над Причерноморьем. *Метеорология, климатология и гидрология* 35: 113-121.

Ивус, Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. 1999. Сильные шквалы на западе Украины 23 июня 1997 г. 1998. *Метеорология, климатология и гидрология* 39: 105-112.

Ивус, Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б., Наджмудинова Е.Н. 1999. Фронтогенез и струйные течения нижних уровней над Украиной. *Метеорология, климатология и гидрология* 39: 101-104.

Ивус, Г.П., Кивганов, А.Ф., Хоменко, Г.В. 1992. Струйные течения нижних уровней над югом Европейской части СССР и возможность их диагноза по данным объективного анализа. *Труды Роскомгидрометцентра* 321: 131-135.

Ивус, Г.П., Хаджи-Страти, Е.Д. 2000. Особенности низкотропосферного струйного течения в антициклоне над Украиной. *Метеорология, климатология и гидрология* 40: 45-52.

Ивус, Г.П., Кивганов, А.Ф., Тимофеев, В.Е. 1991. *Струйные течения нижних уровней атмосферы: учебное пособие.* Киев: УМК ВО при Минвузе УССР. 49 с.

Ивус, Г.П., Сельсо Пасос Альберди, Антонио де Хесус Фернандес Гарсиа.1985. *Исследования мезоструй над о. Куба в дождливый сезон*. Москва: Деп. во ВНИИГМИ-МЦД 06.06.85 № 403, ГМ-Д85. 11 с.

Семергей-Чумаченко, А.Б. 2007. Гидродинамические характеристики нижней тропосферы над Украиной перед возникновением смерчей. *Тези доповідей другої міжнародної науково-технічної конференції „Навколишнє природне середовище – 2007: актуальні проблеми екології та гідрометеорології; інтеграції освіти і науки”*. Одеса:ТЕС, с. 176-177.

Семергей-Чумаченко, А.Б 2007. Термобарическая и гидродинамическая структура атмосферы в период возникновения смерчей в Одесской области в 2002 и 2005 гг. *Материалы Научной конференции «Ломоносовские чтения» 2007 года.* Севастополь: НПЦ «ЄКОСИ-гидрофизика». с. 25-27.