

# Літальні апарати: аеродинаміка, силові установки, обладнання, озброєння та застосування

УДК 623.618.51

DOI: 10.30748/zhups.2018.57.13

Ю.Б. Ситник<sup>1</sup>, О.П. Кондратенко<sup>2</sup>, В.В. Стадник<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Кропивницька льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

<sup>2</sup> Харківська національна академія Національної гвардії України, Харків

<sup>3</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## СПОСОБИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗСУВІВ ПОВІТРЯНИХ МАС ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*Зсув вітру являється одним з найнебезпечніших явищ в атмосфері для авіації. Штучний зсув повітряних мас (ШЗПМ), спричинений вивільненням великої кількості енергії в повітряному просторі, є аналогом природного зсуву вітру, але може бути набагато потужнішим. Штучний зсув повітряних мас розглядається як зсув вітру синусоїдального типу, описаного відповідною системою диференціальних рівнянь.*

**Ключові слова:** зсув вітру, лідар, штучний зсув повітряних мас, ударна хвиля, динаміка руху, безпека польотів, літальний апарат, диференціальне рівняння.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Розрахунок динаміки польоту літального апарату проводиться як в спокійній атмосфері, так і в збуреній. Але відповідно до статистичних даних [1], враховуються природні збурення атмосфери невеликої потужності. Незважаючи на низьку ймовірність попадання літального апарату під небезпечний вплив зсуву вітру, за кількістю жертв від льотних пригод цей фактор в авіації займає десяте місце [2]. За допомогою вибухів потужних боєприпасів і навіть невеликих зарядів направленої дії можна отримати штучний зсув повітряних мас, що перевищує швидкість польоту літального апарату.

Різку зміну стану атмосфери можливо викликати внесенням енергії в простір за рахунок вибуху. Знищення літальних апаратів осколками та продуктами вибуху розглядалося і раніше. Але знищення літака за рахунок різкої зміни умов обтікання різних частин літака не проводилося. Причому необхідно відпрацювати рекомендації льотному складу щодо зменшення небезпечного впливу на динаміку руху ЛА і визначити можливість створення зброї на основі ефекту взаємодії ударної хвилі (УХ) і літального апарату в повітряному просторі. Причому на цивільних літаках встановлюється апаратура по виявленню зсувів вітру, яка могла б і використовуватися військовою авіацією для виявлення штучних зсувів повітряних мас.

Звідси виникають питання: наскільки небезпечні такі зсуви для літального об'єкту? Чи можливо

цей феномен застосувати як зброю, що уражає повітряну ціль на аеродинамічних принципах? Які способи виявлення зсувів вітру можливо використовувати в військовій авіації для уникнення або зменшення уражаючої дії штучного зсуву повітряних мас на літальний апарат?

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз останніх досліджень та публікацій тематики свідчить, що зсуву вітру в цивільній авіації приділено багато уваги. Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) неодноразово піднімала питання щодо зменшення авіаційних подій за причиною зсуву вітру [1–4]. Окрім рекомендацій льотному складу по діях при попаданні в зсуви вітру було прийнято рішення по розробці апаратури, яка б могла б виявляти зсуви вітру та їх зародження [1; 5]. Причому дана апаратура встановлена не тільки на аеродромах а й на літальних апаратах..

**Мета статті** – провести аналіз розроблених систем з виявлення зсуву вітру та надання рекомендацій щодо застосування даних систем на бойових літальних апаратах щодо виявлення штучних зсувів повітряних мас і надання рекомендацій льотному складу щодо уникнення або зменшення небезпечного впливу штучного зсуву повітряних мас на динаміку руху літального апарату з метою забезпечення безпеки польотів.

### Виклад основного матеріалу

Зсув повітряних мас – це відносна зміна швидкості руху повітряних мас за величиною та напрямком

ком у визначеному об'ємі чи прошарку атмосфери [1]. Зсув повітряних мас у природних умовах, тобто зсув вітру, може проходити за рахунок термічних, баричних та інших потужних метеорологічних явищ. Численні дослідження показали, що сильні зсуви вітру можуть виникати при найрізноманітніших метеорологічних ситуаціях що обумовлене рядом причин. Найчастіше області різких зсувів вітру спостерігаються у зонах підвищеної конвективної діяльності поблизу грозових вогнищ, при проходженні атмосферних фронтів, у шарах температурних інверсій і низько тропосферних струменевих течій [6–7].

Аналіз такого впливу зсуву вітру на безпеку польотів дає усі підстави вважати, що цей небезпечний для авіації феномен може застосовуватись і у військовій справі. Тим більше, що значно потужніші зсуви повітряних мас можна викликати штучно, наприклад, за рахунок потужних вибухів у повітрі та інших керованих людиною явищ. Він може виникати і при попаданні космічних тіл в атмосферу [7–8]. Це простіше усього здійснити шляхом потужних вибухів, що ведуть до утворення ударної хвилі з рухом повітряних мас за нею.

У всіх випадках дослідження стосувалося лише руйнівних дій надлишкового тиску в ударній хвилі. Традиційно, якщо в результаті попередніх розрахунків виявлялось, що при дії заданого фактору ЛА руйнується або лишається неушкодженим, то подальший аналіз припинявся [8]. Динаміка подальшого руху ЛА при цьому не розглядалась. І тільки при наявності сумнівних зон проводилося моделювання процесу для виявлення зон руйнування ЛА і ураження екіпажу.

В роботі [8] вплив УХ поділяють на три фази:

- перша характеризується зіткненням фронту УХ з об'єктом, але не поспіває ще пройти вздовж нього. При цьому об'єкт піддається найбільш сильній односторонній дії фронтального удару в проміжок часу проходження фронту УХ вздовж об'єкта;
- друга характеризується проходом фронту УХ і знаходженням об'єкта в зоні надлишкового тиску;
- третя характеризується зміною всебічного надлишкового тиску на розрідження і сили, які діють на об'єкт, змінюють знак. При цьому величина цих сил зменшується, а тривалість їх дії збільшується.

Але саме вплив ШЗПМ буде відбуватись в другій та третій фазі. Крім зміни тиску, густини та температури повітря буде відбуватись зміна швидкості переміщення частинок повітря, тобто ШЗПМ.

На даний час ШЗПМ розглядається як складова повітряної УХ, а ураження ЛА є лише результатом прямої дії ударної хвилі. Додаткова дія ЗПМ на подальший рух ЛА, як правило, не розглядається.

УХ завжди діє сумісно зі ШЗПМ. Але коли міцність ЛА починає перевищувати уражаючі властивості УХ, то з цього моменту дані фактори можна розмежовувати. Чим ближче до епіцентру вибуху, тим потужніша УХ. Але дія ШЗПМ менш тривала у часі. І, навпаки, чим далі від епіцентру вибуху, тим ЗПМ менш інтенсивний, але більш тривалий у часі.

Штучний зсув повітряних мас може мати значний вплив на стійкість та керованість та зміну маневрових можливостей і траєкторії літального апарату.

Формування і поширення ударних хвиль у реальному газі, в тому числі із застосуванням методу розривів, дозволяє дати єдиний опис фронтовим явищам різного характеру [9]. Ці ідеї послужили основою для постановки експериментальних досліджень з поширення детонаційних і ударних хвиль і потоків за ударними хвилями в реальних газах, здатних до екзотермічних і ендотермічних реакцій. Ці дослідження проводилися в ударних і детонаційних трубах [10–11]. Істотною особливістю формування і поширення ударних хвиль в ударній трубці є те, що ці процеси є наслідком додавання акустичних хвиль нескінченно малої амплітуди. З цього погляду, рух газу, що виникає за ударною хвилею, є, власне кажучи, нестационарним навіть при постійній швидкості ударної хвилі. Це пояснюється тим, що в міру її поширення в русі беруть участь усі нові і нові шари газу. Потік газу за УХ має своєрідну структуру, при якій області, що знаходяться на різній відстані від фронту хвиль, рухаються різний час. Така особливість вносить визначену своєрідність протягом реального часу за ударною хвилею.

Отже, для того, щоб боротися з цим явищем, треба: оперативно вміти виявляти наявність зсуву вітру, його величину, тривалість впливу на повітряне судно, знати і оперативно визначати критичну величину зсуву вітру, при якому повинен бути початий негайний відхід.

На жаль, сучасні методи визначення або прогнозування за наведеними вище причин не мають можливість надання екіпажу цієї інформації. У кращому випадку вони визначають наявність зсуву, та й то з помилкою, бо це явище дуже рухливе але як за місцем, так і в часі прояви.

Очевидно, щоб вирішити ці питання, потрібно, щоб апаратура за визначенням зсуву вітру була, поперше, здатна заміряти зрушення вітру і його величину, тривалість дії і, по-друге, була розміщена на борту повітряного судна. Крім цього, необхідно знати критичні значення зсуву вітру, небезпечні для виконання польоту. При цих умовах можна буде говорити про силу цього явища і саме щодо даного повітряного судна і, відповідно, про ступінь небезпеки.

За останні 20 років в міжнародній практиці авіаметеорологічних забезпечення авіації були досяг-

нуті значні успіхи в розробці, як наземного, так і бортового обладнання, призначеного для виявлення зсуву вітру та попередження про нього. Зокрема, великий прогрес в розробці наземних доплерівських РЛС і доплерівської технології обробки сигналів сприяв появі високоефективних наземних систем виявлення і попередження про зсув вітру.

Досвід західних країн свідчить про успішне використання цієї не так давно суто військової технології в завданнях метеорологічного моніторингу та управління повітряним рухом. Встановлені в районах аеропортів, лідари вимірюють вітрові зсуви на льотному полі, турбулентність сліду літака і інші атмосферні параметри, знати які необхідно для забезпечення безпеки в метеорологічному відношенні зльоту і посадки повітряних суден. У світовій практиці авіаметеорологічних забезпечення використання лідарів в цих цілях здійснюється з 90-х років. Це обладнання встановлено в великих аеропортах Англії, Німеччини, Франції та Гонконгу.

Приблизний ефект від використання лідара вже прорахований і для аеропорту Хітроу він становить збільшення пропускної спроможності близько 26000 рейсів в рік, а для аеропорту Франкфурт-на-Майні близько 11500 рейсів відповідно [4].

В даний час відпрацьовується процедура впровадження інтегрованої системи вихрової безпеки польотів в оперативну практику спостережень за турбулентністю. Ця система включає в себе «Підсистему метеорологічного забезпечення» складається з наземного модуля, основою якого є лідарний комплекс для метеорологічного забезпечення польотів авіації та моніторингу вихрової обстановки [4].

Лідарний комплекс складається з доплерівського лідара, який сканує, лазерного профайлер-вимірювача вертикального профілю швидкості вітру і сканера вихрових слідів.

Інформація з лідарного комплексу буде надходити в автоматизовану інформаційну систему безпосереднього визначення метео параметрів і далі буде автоматично передаватися по каналах мовлення.

Розробляється система, з метою визначення та прогнозування турбулентності. Вона повинна бути інтегрована в системи сенсорних датчиків вимірювання параметрів вітру та доплерівського радіолокатора. Високошвидкісна автоматизована обробка алгоритмів і аналізу даних повинна здійснюватися в реальному масштабі часу.

Впровадження зазначеної системи дозволить здійснити комплексне вирішення проблеми виробництва спостережень, забезпечення інформацією органів УПР і повітряних судів про параметри вітру в районі аеродрому та його ближній зоні, а також істотно підвищити якість прогнозу зсуву вітру та особливо зон турбулентності ясного неба.

Також розглянемо прилад, зареєстрований автором статті [5] патентом призначений для визначення величини зсуву вітру. Який встановлюється на борту повітряного судна, вирішуючи тим самим поставлені завдання відповідно до тимчасового і просторового становища літального апарата. Принцип його роботи заснований на вимірі прискорень акселерометром по осях X і Y та розрахунку прискорень, пов'язаних саме зі зсувом вітру. Рішення завдання по визначенню величини зсуву вітру йде в блоці обчислення за алгоритмом, заснованому на рішенні системи рівнянь з декількома невідомими. Отримані значення прискорень, пов'язані зі зсувом вітру, переводяться в поточні величини. Потім поточні величини зсуву вітру надходять в блок порівняння, де безперервно порівнюються з критичними значеннями. При досягненні ними критичних величин видається команда на табло, що повідомляє екіпажу інформацію про відхід на друге коло. Найважливіший в приладі блок інтегрування дозволяє враховувати можливу дію зсуву вітру на повітряне судно в часі, що дає можливість визначати вимірювання вільних енергетичних потужностей повітряного судна. Екіпаж (або автомат тяги в автоматичному режимі) парире вплив зсуву вітру зміною режиму роботи двигунів. Зменшення запасу по потужності при негативному зсуві вітру призводить до збільшення "просідання" повітряного судна при виході на друге коло і, відповідно, до збільшення висоти прийняття рішення. Блок корекції DA/H (висоти прийняття рішення) перераховує цю висоту і видає нові значення на табло. Блок обліку посадкової маси повітряного судна дозволяє точніше враховувати запас по потужності.

Використання даних приладів в комплексі для визначення штучного зсуву повітряних мас дало б змогу екіпажеві зменшити небезпечний вплив на динаміку руху літального апарату або взагалі його уникнути. Вся інформація, яка надається льотчику на екрані індикатора і за допомогою синтезатора мови, надходила б від бортової експертної системи. На неї покладатимуться такі основні функції: розпізнавання цілі за межами дальності візуального виявлення; оцінка тактичної обстановки, визначення рівня загрози та послідовності дій з подальшим інформуванням льотчика; витримувати запланованого маршруту польоту і його зміна в залежності від обстановки, наприклад, для обльоту раптово виявленої позиції засобів ППО; забезпечення льотчика рекомендаціями щодо відображення загрози і виконання за його командою оборонних і наступальних дій; контроль бортових систем.

## **Висновки**

Використовуючи зброю, побудовану на принципі використання штучного зсуву повітряних мас, можна знищувати низько літаючі літальні апарати.

Причиною цього є майже відсутня висота та великий дефіцит часу на прийняття рішення з парировання небезпечного впливу навіть не потужного штучного зсуву повітряних мас.

Використання розглянутих приладів в комплексі для визначення штучного зсуву повітряних мас дало б змогу екіпажеві зменшити небезпечний вплив на динаміку руху літального апарату або взагалі його уникнути.

## Список літератури

1. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах. Doc9817 AN/449 ICAO 2005. – 258 с.
2. Представление данных о авиационных инцидентах и происшествиях (ADREP). Циркуляр ИКАО 282 AN/165/ ICAO 1999. – 48 с.
3. Руководство по авиационной метеорологии. Doc8896 AN/893 ICAO 2011. – 190 с.
4. Безрукова Н.А. Метеорологическое обеспечение интегрированной системы вихревой безопасности полетов в районе аэродрома и его ближней зоны / Н.А. Безрукова. – [Электронный ресурс]: Библиотека ДСПК. Метеоагентство 2010. – 4 с. – Режим доступа: [http://www.dspk.cs.gkovd.ru/library/.../meteooobespech\\_sistemy\\_vihrevoy\\_bp\\_v\\_r\\_ne\\_aerodr\\_d](http://www.dspk.cs.gkovd.ru/library/.../meteooobespech_sistemy_vihrevoy_bp_v_r_ne_aerodr_d).
5. Тяпко А.Е. Безопасность полётов, пути её повышения при заходе на посадку в условиях сдвига ветра / А.Е. Тяпко // Научный вестник МГТУ ГА. Серия аэромеханики и прочности. – 2010. – Вып. 151 – С. 192-197.
6. Трунов О.К. Влияние сдвига ветра на взлет и посадку самолетов / О.К. Трунов, Л.И. Журавлев. – М.: ГосНИИ ГА. 1979. – 148 с.
7. Обрубов А.Г. Динамика самолёта в условиях сдвига ветра. / А.Г. Обрубов, В.Е. Грязин // Труды ЦАГИ. – Вып. 2163. – 1983. – С. 3-24.
8. Корочкін О.А. Ураження аеродинамічних літальних апаратів за рахунок зсуву повітряних мас при потужних вибухах / О.А. Корочкін, М.І. Литвинчук, А.Г. Костаків // Збірник наукових праць Харківського військового університету. – Вип. №3 (41). –2002. – С. 151-153.
9. Лойцянський Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский // Издание 7-е, исправленное. – М.: ДРОФА, 2003. – 840 с.
10. Ляхов В.Н. Воздействие ударных волн и струй на элементы конструкций / В.Н. Ляхов. – М.: Машиностроение, 1989. – 392 с.
11. Иванов А.Н. Исследование обтекания конических тел нестационарным потоком газа за сферической ударной волной / А.Н. Иванов // Труды ЦАГИ. – Вып. 2184. – 1983. – С. 3-26.

## References

1. ICAO (2005), “*Rukovodstvo po zdwigu wetra na malih wisotah*” [The guide to low-level wind shear], Doc9817 AN/449/ ICAO, 258 p.
2. ICAO (1999), “*Predstawienie dannah o aviazionnih inzidentah i proishestwiyah (ADREP)*” [The presentation of data about aviation accidents and incidents], Circular ICAO 282 AN/165, 48 p.
3. ICAO (2011), “*Rukovodstvo po aviazionnoy meteorologii*” [The manual on Aeronautical Meteorology], Doc8896 AN/893, 190 p.
4. Bezrukova, N.A. (2010), “*Meteorologicheskoe obespechenie integrirovannoy sistemi vihrevoy bezopasnosti polotov w rayone aerodrome i ego blizhney zone*” [Meteorological support of the integrated vortex safety system in the area of the aerodrome and its near zone], Biblioteka DSPK. Mетеоагентство, 4 p. [http://www.dspk.cs.gkovd.ru/library/.../meteooobespech\\_sistemy\\_vihrevoy\\_bp\\_v\\_r\\_ne\\_aerodr\\_d](http://www.dspk.cs.gkovd.ru/library/.../meteooobespech_sistemy_vihrevoy_bp_v_r_ne_aerodr_d).
5. Тяпко, А.Е. (2010), “*Bezopasnost polotov, puti ee powisheniya pri zahode na posadku w usloviyah zdwiga wetra*” [Flight Safety, increase its path during landing wind shear], *Scientific Herald MGTU GA. Series of aeromechanics and strength*, No. 151, pp. 192-197.
6. Trunov, O.K. and Zhurawlew, L.I. (1979), “*Wliyanie zdwiga wetra na wzlet i posadku samolotow*” [The effect of wind shear on takeoff and landing of aircraft], GosNII GA, 148 p.
7. Obrubow, A.G. and Gryazin, W.E. (1983), “*Dinamika samolota w usloviyah zdwiga wetra*” [The airplane dynamics under wind shear conditions], *Works ZAGI*, No. 2163, pp. 3-24.
8. Korochkin, O.A., Litwinchuk, M.I. and Kostakow, A.G. (2002), “*Urazhennya aerodinamicheskikh litalnih aparatiw za rahunok zsuwu powitryanih maspri potuzhnyh wibuhah*” [Defeat of aerodynamic aircraft due to displacement of air masses at high explosions], *Collection of scientific works of Kharkiv military university*, No. 3 (41), pp. 151-153.
9. Loznyaskiy, L.G. (2003), “*Mehanika zhidkosti i gaza*” [The mechanics of liquid and gas], the 7th edition, corrected, DROFA, 840 p.
10. Lyahow, W.N. (1989), “*Wozdeystwie udarnih woln i struy na elementi konstrukziy*” [The impact of shock waves and jets on structural elements], Mashinostroenie, Moscow, 392 p.
11. Ivanow, A.N. (1983), “*Issledowanie obtokaniya konicheskikh tel nestazionarnim potokom gaza za sfericheskoy udarnoy wolnoy*” [An investigation of the flow of conical bodies by a nonstationary gas flow behind a spherical shock wave], *Works ZAGI*, No. 2184, pp. 3-26.

**Відомості про авторів:**

**Ситник Юрій Борисович**

кандидат технічних наук професор  
завідувач кафедри  
Кропивницької льотної академії  
Національного авіаційного університету,  
Кропивницький, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-0966-691X>

**Кондратенко Олександр Павлович**

доктор технічних наук професор  
завідувач кафедри  
Харківської національної академії  
Національної гвардії України,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8995-4884>

**Стадник Володимир Володимирович**

начальник групи  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-4450-4310>

**Information about the authors:**

**Yuriy Sitnik**

Candidate of Technical Sciences Professor  
Head of Department  
of Kropivnitskaya Flight Academy  
of National Aviation University,  
Kropivnizkiy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0966-691X>

**Alexandr Kondratenko**

Doctor of Technical Sciences Professor  
Head of Department  
of Kharkiv National Academy  
of National Guard of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8995-4884>

**Volodimir Stadnik**

Head of the Group  
of Kharkiv National Air Force University,  
Named by I. Kozhedub,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4450-4310>

**СПОСОБЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СДВИГОВ ВОЗДУШНЫХ МАСС  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Ю.Б. Ситник, А.П. Кондратенко, В.В. Стадник

*Сдвиг ветра является одним из наиболее опасных явлений в атмосфере для авиации. Искусственный сдвиг воздушных масс, вызванный высвобождением большого количества энергии в воздушном пространстве, является аналогом природного сдвига ветра, но может быть гораздо мощнее. Искусственный сдвиг воздушных масс рассматривается как смещение ветра синусоидального типа, описанного соответствующей системой дифференциальных уравнений. Определение сдвига ветра и его возникновения производится с помощью лидара и инерциальной системы, что можно использовать и для определения искусственного сдвига воздушных масс.*

**Ключевые слова:** сдвиг ветра, лидар, искусственный сдвиг воздушных масс, ударная волна, динамика движения, безопасность полётов, летательный аппарат, дифференциальное уравнение.

**THE METHODS OF DETERMINATION AND FORECASTING OF AIRCRAFT MASKS  
FOR PROTECTION OF LIFTING EQUIPMENT SAFETY**

Yu. Sitnik, O. Kondratenko, V. Stadnik

*The wind shear is one of the most dangerous phenomena in the atmosphere for aviation. The artificial shift of air masses, caused by the release of a large amount of energy in the air space, is an analog of the natural wind shear, but can be much more powerful. Artificial displacement of air masses is considered as a wind displacement of the sinusoidal type, described by the corresponding system of differential equations. The determination of the wind shear and its occurrence is made with the aid of a lidar and an inertial system, which can also be used to determine the artificial displacement of air masses. Established in the regions of the airports, the lidars measure wind shifts on the airfield, the turbulence of the airplane track and other atmospheric parameters that are known to ensure the safety of the meteorological approach to take-off and landing of aircraft. An inertial wind shear determination system is installed on board an aircraft, thus solving the tasks set in accordance with the temporary and spatial position of the aircraft.*

*The use of the instruments considered in the kit to determine the artificial displacement of air masses would enable the crew to reduce the dangerous impact on the dynamics of the aircraft, or in general avoid it.*

**Keywords:** wind shear, lidar, artificial air displacement, shock wave, motion dynamics, flight safety, flying machine, differential equation.