

ШТУЧНИЙ ЗСУВ ПОВІТРЯНИХ МАС ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ У ПОЛЬОТІ

А.Г. Костаков

(подав д.т.н., проф. С.В. Козелков)

Серед уражаючих факторів потужних вибухів найбільш вагомим є ударна хвиля. До її складу відносять і рух за нею повітряних мас, так званий їх зсув, що має за аналог природний зсув вітру. Фізична природа та зона уражаючої дії на літальні апарати у повітрі зсуву повітряних мас можуть суттєво відрізнятись від дії власне ударної хвилі, що окремо глибоко ще не досліджувалось.

Актуальність. Вперше про вплив зсуву вітру (ЗВ) на безпеку польотів заговорили після катастрофи 24.06.1975 р. в аеропорту Кеннеді м. Нью-Йорк пасажирського літака Боїнг-727, що потрапив у чарунку від дії кучово-дошової хмари. Відповідно статистики за період 1970...1986 рр. лише у цивільній авіації з цих причин було 18 авіаційних пригод, у тому числі 7 катастроф, у яких загинуло 575 чол. [1]. Цілком дієздатні та неушкоджені літальні апарати (ЛА) несподівано для екіпажу втрачали опору повітря, стійкість та керованість і стикались з поверхнею землі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз публікацій та досліджень з даної тематики свідчить [1, 3] що вплив ЗВ 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 (ЗПМ) можна викликати штучно, наприклад, за рахунок потужних вибухів у повітрі та інших керованих людиною явищ.

Постановка завдання. Слід визначитись, що на даний час ударна хвиля (УХ) при потужних вибухах і ЗПМ за нею не розділяються. Їх сумісний вплив на ЛА розглядався і раніше, але у всіх випадках суть досліджень стосувалася лише руйнівних дій і втрати здатності до функціонування. Якщо у результаті попередніх розрахунків виявлялось, що при дії ударної хвилі ЛА руйнується, то подальший аналіз припинявся. При наявності сумнівних зон такої дії проводилися дослідження і моделювання процесу, але знову ж таки для більш чіткого виявлення меж руйнування ЛА і ураження екіпажу [2].

Розрахунки припинялись при виявленні, що у результаті дії УХ ЛА лишається неушкодженим. Динаміка його руху за цими межами не розг-

лядалась, хоч у досліджуваній літературі вказується на можливий значний вплив ЗПМ на стійкість і керованість та зміну маневрових можливостей і траєкторії ЛА.

Викладення основних результатів. При потужних вибухах ЗПМ за УХ являє собою широке та динамічне поле їх поступального і обертального руху. Навіть без урахування дії УХ, зміна характеру обтікання ЛА такими повітряними масами веде до некерованих змін траєкторії руху та його положення у просторі, що може викликати не тільки механічні ушкодження літального апарата та порушення працездатності екіпажу, але і їх зіткнення із землею поверхнею.

Штучний зсув повітряних мас, як і природний зсув вітру, можливий при внесенні в атмосферу великих порцій енергії. Це простіше усього здійснити шляхом потужних вибухів, що ведуть до утворення ударної хвилі і руху повітряних мас за нею (рис. 1, де f – площа розрізу; $\rho + \Delta\rho$ – щільність та її приріст; $P + \Delta P$ – тиск та його приріст; D_ϕ – швидкість ударної хвилі; U – швидкість зсуву повітряних мас).

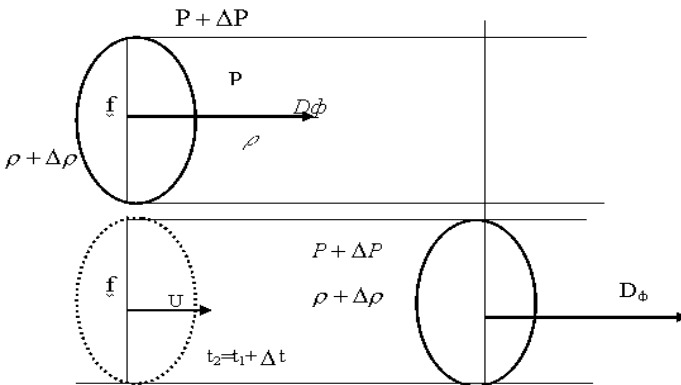


Рис. 1. Ілюстрація появи руху повітря за ударною хвилею

У результаті такого вибуху його енергія перетворюється на внутрішню енергію теплоти, кінетичну енергію руху та потенційну енергію тиску повітряних мас, які у відповідності зі змінами тиску та щільності утворюють потужний фронт повітряної ударної хвилі [2, 4].

За час переміщення фронту хвилі з положення I у положення II щільність повітря у розрізі I-II збільшиться на величину $\Delta\rho$. Це означає, що у цей об'єм за час Δt зліва направо пройшла якась маса повітря Δm за рахунок його супутнього руху зі швидкістю U :

$$\Delta m = f U \Delta t (\rho + \Delta\rho). \quad (1)$$

Так як щільність повітря збільшилась на $\Delta\rho$, то

$$\Delta m = f D\phi \Delta t \Delta\rho. \quad (2)$$

Прирівнявши рівняння 1 і 2, отримуємо

$$U = D\phi \frac{\Delta\rho}{\rho + \Delta\rho}. \quad (3)$$

Із виразу (3) видно, що швидкість руху повітряних мас U за ударною хвилею менше швидкості ударної хвилі $D\phi$.

Маса повітря у розрізі I-II до приходу фронту була у стані спокою, а потім отримала швидкість U . За теоремою про зміну кількості руху, імпульс сили дорівнює

$$f D\phi \Delta t \rho U = \Delta P f \Delta t, \quad (4)$$

де ΔP – збиток тиску,

$$\text{звідки} \quad U = \frac{\Delta P}{\rho D\phi} \quad (5)$$

та

$$D\phi = \sqrt{\frac{\rho + \Delta\rho}{\rho} \frac{\Delta P}{\Delta\rho}}. \quad (6)$$

Отримані формули (5), (6) і їх різновиди у подальшому можуть використовуватися при розрахунках УХ і ЗПМ в умовах адіабатичного процесу.

На нинішньому етапі розвитку технологій потужні вибухи у повітрі найбільш доступні за рахунок ядерної енергії. Їх можна також здійснювати за допомогою звичайної вибухової речовини, але для цього необхідна її маса, еквівалентна тисячам тонн, що технічно досягти не завжди можливо і недоцільно.

У результаті дії вибухової ударної хвилі (рис. 2, де $D_{\phi v}$ і $D_{\phi \Gamma}$ – вертикальна і горизонтальна складові швидкості УХ; U_v і U_{Γ} – вертикальна і горизонтальна складові ЗПМ), повітряні маси починають рухатись за нею з деякою швидкістю U , яка визначається залежностями [2, 4]:

$$U = \frac{\Delta P_{\phi}}{\rho_0 D_{\phi}} = \frac{C_0}{k} \cdot \frac{\Delta P_{\phi} / P_0}{\sqrt{1 + \frac{k+1}{2k} \frac{P_{\phi}}{P_0}}} \quad \text{м/с}; \quad (7)$$

$$D\phi = C_0 \sqrt{1 + \frac{k+1}{2k} \frac{\Delta P_{\phi}}{P_0}} \quad \text{м/с}, \quad (8)$$

де $C_0 = \sqrt{k P_0 / \rho}$ м/с; $k = C_p / C_v$ – показник адіабати; P_0 – тиск на рівні моря; P_{ϕ} – тиск на фронті ударної хвилі; C_p і C_v – питомі теплоємкості при постійному тиску і об'ємі.

Для ударної хвилі, що розповсюджується прямолінійно у повітряно-му середовищі і характеризується параметрами МСА на рівні моря при показнику адіабати $k = 1.4$, швидкість зсуву повітря можна записати як

$$U = \frac{235_{\Delta} P_{\phi}}{\sqrt{1 + 0,83_{\Delta} P_{\phi}}} \text{ м/с,} \quad (9)$$

де ΔP_{ϕ} – збиток тиску на фронті ударної хвилі.

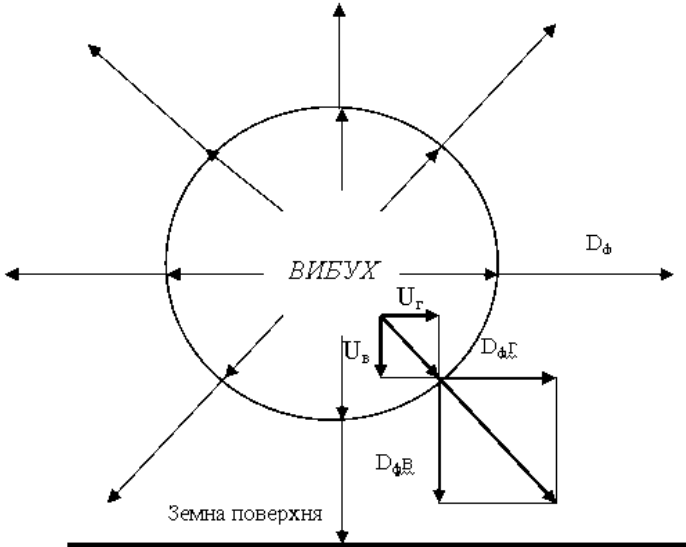


Рис. 2 . Ударна хвиля при потужних вибухах та ЗПМ за нею

Результати розрахунків параметрів ЗПМ у залежності від відстані від епіцентра при потужності вибуху 200 кт, що відповідає ядерному заряду крилатої ракети „Томагавк”, наведені у табл. 1, відповідно якій дослідження впливу ЗПМ очікуються найбільш результативними у діапазоні збитку тиску повітря на УХ від 0.05 до 1.0 кгс/см².

За стисканням повітря іде фаза розрідження, час дії якої у декілька разів більше фази стискання і зростає при збільшенні потужності вибуху:

$$\tau_{+} = 3,6 * 10^{-3} \sqrt[6]{qRc} \quad (\text{фаза стискання}); \quad (10)$$

$$\tau_{-} = 0,1 \sqrt[3]{q} \quad (\text{фаза розрідження}), \quad (11)$$

де q – потужність вибуху; R – відстань від центру вибуху; c – швидкість УХ.

Результати розрахунків параметрів ЗПМ

Збиток тиску ΔP , кгс/см ²	Густина повітря ρ , кг с ² / м ⁴	Швидкість фронту Dф, м/с	Швидкість повітря (ЗПМ) U м/с, (км/год)	Відстань до епіцентра вибуху (м)
0.02	0.1267	342.8	4.67/16.8	26150
0.03	0.1276	344.2	7.24/26	17100
0.04	0.1285	345.6	9.26/33.3	13900
0.06	0.1303	348.4	13.8/49.7	11200
0.08	0.1319	351.2	18.2/65.5	9500
0.1	0.1335	354	22.6/81.4	7700
0.2	0.142	367	43.6/157	5900
0.3	0.15	380	63.2/227.5	4900
0.4	0.158	392	82/295.2	4200
0.5	–	404	99.2/357.1	3800
0.6	–	416	115/414	3450
0.7	–	428	131/471.6	3300
0.8	–	439	146/525.6	3100
1.0	–	460	174/626.4	2800
1.5	–	510	236/850	2100
2.0	–	555	287/1033	1600

Швидкість зсуву повітряних мас змінюється у часі: спочатку повітряні маси рухаються за УХ, потім на фазі розрідження зупиняються і починають рухатись назад у напрямку епіцентра вибуху. Це має деяку аналогію з мікробибухами у випадку зі зсувом вітру.

По мірі віддалення від епіцентра швидкість ЗПМ зменшується за величиною, але час зміни її за швидкістю зростає.

При знаходженні ЛА у повітрі, у залежності як він рухається по відношенню до руху УХ і ЗПМ, час дії ЗПМ на нього може зростати чи зменшуватися.

Цілком можливо, що і дія ударної хвилі на літальний апарат залежить від його руху. УХ стосовно літального апарата має відносну кінетичну енергію E_k :

$$E_k = \frac{m(D_{\phi} + V_{\text{пол}})^2}{2} \quad (\text{на зустрічних курсах}), \quad (12)$$

$$E_k = \frac{m(D_{\phi} - V_{\text{пол}})^2}{2} \quad (\text{на попутних курсах}), \quad (13)$$

де m – рухома маса повітря.

Вважаючи, що надзвукова швидкість УХ по мірі відходу від епіцентра вибуху зменшуватиметься, то у випадку польоту літака з відповідною постійною надзвуковою швидкістю, УХ на попутних курсах спочатку буде наздоганяти ЛА, при $D_{\phi} = V_{\text{пол}}$ УХ і ЛА одне відносно іншого на якусь мить зупиняться, а потім УХ почне відставати від ЛА.

Але у всіх випадках основним уражаючим фактором, що визначає руйнування чи пошкодження озброєння, техніки і інших об'єктів, вважається ударна хвиля. Її уражаюча дія проявляється через динамічні навантаження на об'єкти як на землі, так і у повітрі, від інерційних сил, додаткового тиску, швидкісного напору повітря та кута підходу УХ, викликаючи механічні ушкодження ЛА, порушення режиму роботи його двигунів, втрату стійкості і керованості за рахунок конструктивних пошкоджень та перевищення допустимих кутів атаки і ковзання.

На даний час ЗПМ розглядається як складова повітряної УХ, а ураження ЛА розглядається лише як результат прямої дії ударної хвилі. Додаткова дія ЗПМ на подальший рух ЛА, як правило не розглядається, хоч і на це у спеціальній літературі увага інколи звертається.

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

Аналіз стану розробок щодо впливу уражаючих факторів потужного вибуху показав, що теоретичні та експериментальні дослідження, проведені у різних країнах ще у 50...80-х роках, знаходились на досить високому рівні. Глибоко вивчено сам процес ядерного вибуху, його уражаючі фактори і їх всебічні характеристики, зони поразення та безпечні зони відносно епіцентра вибуху, що знайшло своє відбиття у способах і прийомах застосування такої зброї і заходах по уникненню від її дії, у графіках, номограмах, формулах для практичних розрахунків, додаткових вимогах до конструкції різних типів ЛА при їх конструюванні, та обмеженнях при експлуатації у відповідних бойових умовах [4].

Слід також зазначити, що у проаналізованій літературі [1 – 4] та інші мають численні прямі та непрямі посилання на те, що більшість наведених характеристик, щодо впливу ударної хвилі на об'єкти, отримано шляхом узагальнення матеріалів, надрукованих у відкритих зарубіжних публікаціях, тому вони можуть мати значну розбіжність у даних і розглядаються з цього приводу лише з точки зору вірогідності.

Так, наприклад, руйнуючий збитковий тиск ударної хвилі на літаковинишувач у різних джерелах дається у діапазоні ΔP_{ϕ} від 0.3 до 0.9 кгс/см². І, як уже згадувалось, основна маса інформації того часу щодо поразючих факторів ядерних вибухів знаходиться у закритих джерелах.

Висновки. Таким чином поряд з уже відомими факторами поразення від потужних вибухів, цілком вірогідно, існують другорядні фактори, які включаються до складу основних, хоч за суттю дії можуть розглядатися у якості самостійних; серед них – зсув повітряних мас, що зараз органічно включається до складу ударної хвилі, але на відміну від неї він діє на ЛА лише у польоті і за іншими фізичними принципами; ЗПМ має непряму уражаючу дію і переміщається за УХ, „довершуючи почату” нею роботу; це відбувається без безпосереднього фізичного поразення ЛА, за рахунок зміни його аеродинамічних сил і моментів, що призводить до порушення стійкості і керованості, різкої зміни прискорень і перевантажень та параметрів і траєкторії руху ЛА.

ЛІТЕРАТУРА

1. Трунов О.К., Журавлєв Л.И. Влияние сдвига ветра на взлет и посадку самолетов. – М.: ГосНИИ ГА, 1979. – 148 с.
2. Корочкін О.А., Литвинчук М.І., Костаков А.Г. Поразення аеродинамічних літальних апаратів за рахунок зсуву повітряних мас при потужних вибухах // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ. – 2002. – Вип. 3(41). – С. 151 – 153.
3. Заварина М.В. Расчетные скорости ветра на высотах нижнего слоя атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 162 с.
4. Ядерное оружие. Учебник. – М.: ДОСААФ, 1969. – 326 с.

Надійшла 5.01.2004

КОСТАКОВ Андрій Геннадійович, старший викладач Харківського інституту ВВС. Закінчив Балашовське ВВАУЛ у 1988 році. Область наукових інтересів – озброєння, військова техніка та їх застосування.