



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Теплоенергетичний факультет
Кафедра АПЕПС



Моделювання розподілу рівнів авіаційного шуму в районі аеропорту

Магістрант групи ТВ-41м :

Шпак Анна Олександрівна

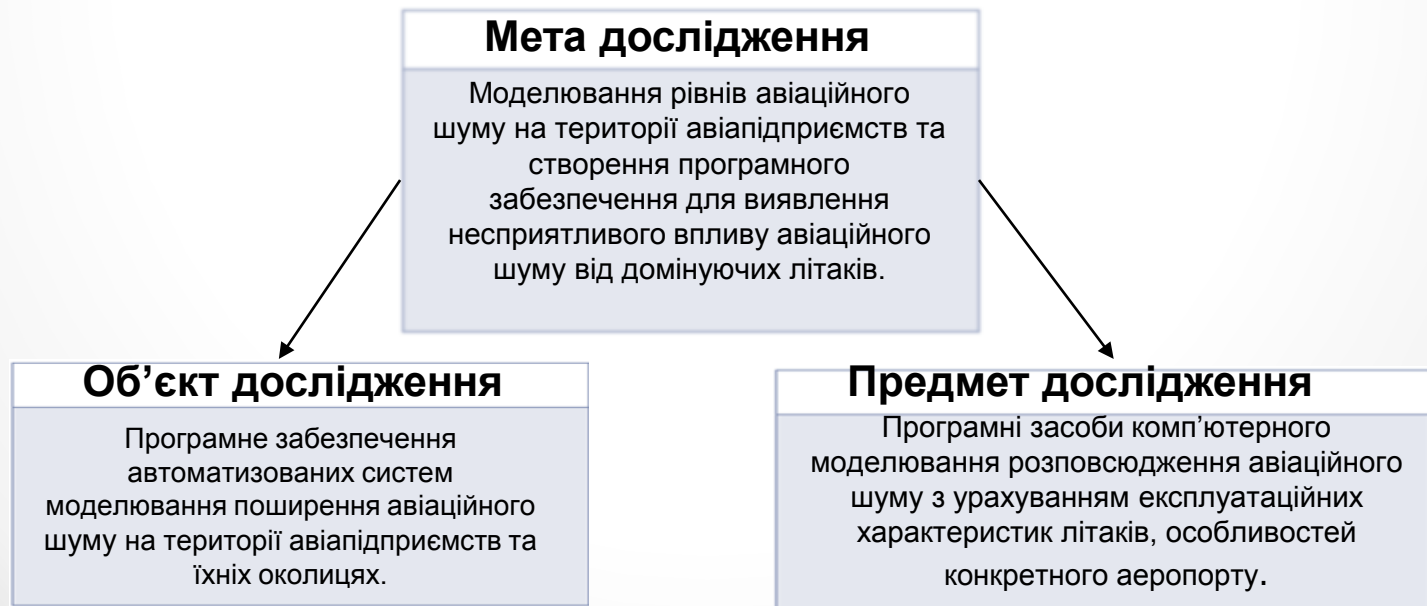
Науковий керівник: к.е.н., доцент

Левченко Лариса Олексіївна

Актуальність

Авіаційний шум є найбільш важливим несприятливим фактором щодо екологічного навантаження на навколишнє природне середовище, яке здійснюють реактивні та турбовентиляторні літаки. Збільшення парку таких літаків та інтенсивності їх експлуатації, розширення меж аеропортів та їх наближення до меж житлових районів з великою щільністю населення потребує зменшення несприятливого впливу авіаційного шуму відповідно до міжнародних вимог ICAO.

Структурно-логічна схема



Завдання дослідження

- проаналізувати існуючі підходи щодо моделювання рівнів та джерел авіаційного шуму повітряних суден;
- розробити структуру базу даних, яка враховує акустичні та льотно-технічні характеристики повітряних суден та експлуатаційні дані аеропорту;
- автоматизувати процес формування секцій для програми побудови контурів шуму;
- створити програмне забезпечення для моделювання процесу поширення авіаційного шуму повітряних суден для прямолінійної ділянки злету та посадки.

Наукова новизна

- удосконалено спосіб оцінювання шумового навантаження на навколишнє природне середовище від турбореактивних та турбовентиляторних літаків за рахунок розробки моделі розрахунку рівня звуку при одиночному прольоті літака при прямолінійному злеті та посадці, що призвело до забезпечення постійного моніторингу рівнів авіаційного шуму та виявлення несприятливих умов щодо перевищення гігієнічних нормативів допустимих рівнів шуму;
- набуло подальшого розвитку застосування автоматизації побудови контурів авіаційного шуму для експлуатації повітряних суден;
- наукові положення роботи були опубліковані у 2 роботах та доповідались на конференціях.

Методи дослідження

- Метод сегментації для побудови моделі поширення контурів авіаційного шуму;
- Метод розрахунку рівня звуку при одиночному прольоті літака для оцінювання рівня шуму.

Аналіз ПЗ оцінювання авіаційного шуму

- **The Integrated Noise Model (INM)** - американська програмна система, яка розроблена спільно Управлінням відділу навколишнього середовища та енергетики Федерального управління цивільної авіації США, Департаментом транспорту США, корпорацією ATAC.
- **SoundPLAN v 7.4** - Це потужне програмне забезпечення, розроблене в Німеччині, яке здійснює моделювання поширення шуму і оцінювання забруднюючих речовин. В цій програмі враховуються акустичні впливи, кліматичні умови, що дозволяє змінювати розмір акустичних бар'єрів з урахуванням акустичних впливів. В якості джерела шуму можуть використовуватися транспортні засоби, залізниця, аеропорт.
- **AcousticLAB-avia** В Росії та Україні реалізовано метод АШ засобами програми AcousticLAB-avia. Основною характеристикою АШ є оціночний еквівалентний рівень звукового тиску. Можуть бути використані інші характеристики, такі як максимальний корегований за шкалою «А» рівень звукового тиску і комбінований добовий рівень звуку, в залежності від виду розв'язуваної задачі - оцінки, контролю, зниження несприятливого впливу АШ на населення, ін.

Нормативно-правові акти

- Закон України про охорону атмосферного повітря від 16.10.1992 № 2707-XII (Відомості Верховної Ради, 1992, N 50, ст.678).
- Закон України про екологічну експертизу, 1995.
- Закон України про охорону навколишнього природного середовища, 1992.
- Дос 9911, Керівництво по рекомендованому методу розрахунку контурів шуму навколо аеропортів. – 2008. - ICAO
- ДСанПіН планування та забудови населених пунктів. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.96 №172. – К.: Укрархбудінформ, 2002. - 59с.
- ANP database – база даних літаків.

Зони, що визначають придатність території на околицях аеропорту до забудови

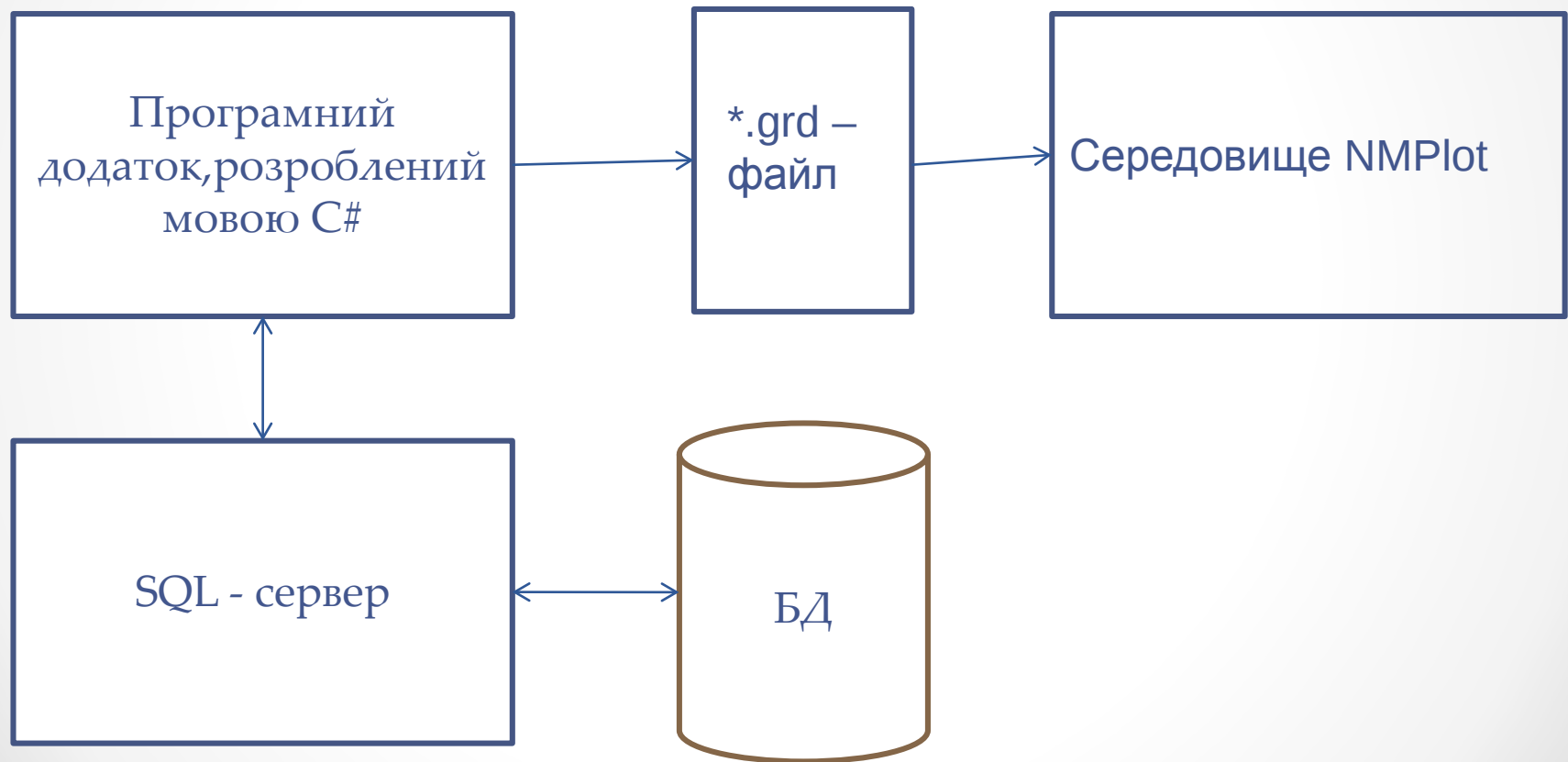
Період доби	А	Б	В	Г
День	$L_{Aeq} \leq 60$ $L_{Amax} \leq 80$	$61 \leq L_{Aeq} \leq 65$ $81 \leq L_{Amax} \leq 85$	$61 \leq L_{Aeq} \leq 65$ $81 \leq L_{Amax} \leq 85$	$L_{Aeq} > 65$ $L_{Amax} > 85$
Ніч	$L_{Aeq} \leq 50$ $L_{Amax} \leq 70$	$51 \leq L_{Aeq} \leq 55$ $71 \leq L_{Amax} \leq 75$	$56 \leq L_{Aeq} \leq 60$ $76 \leq L_{Amax} \leq 80$	$L_{Aeq} > 60$ $L_{Amax} > 80$

А - територія без обмежень для будівництва споруд будь-якого призначення;
Б та В - території з обмеженнями;
Г - непридатна територія до житлової забудови

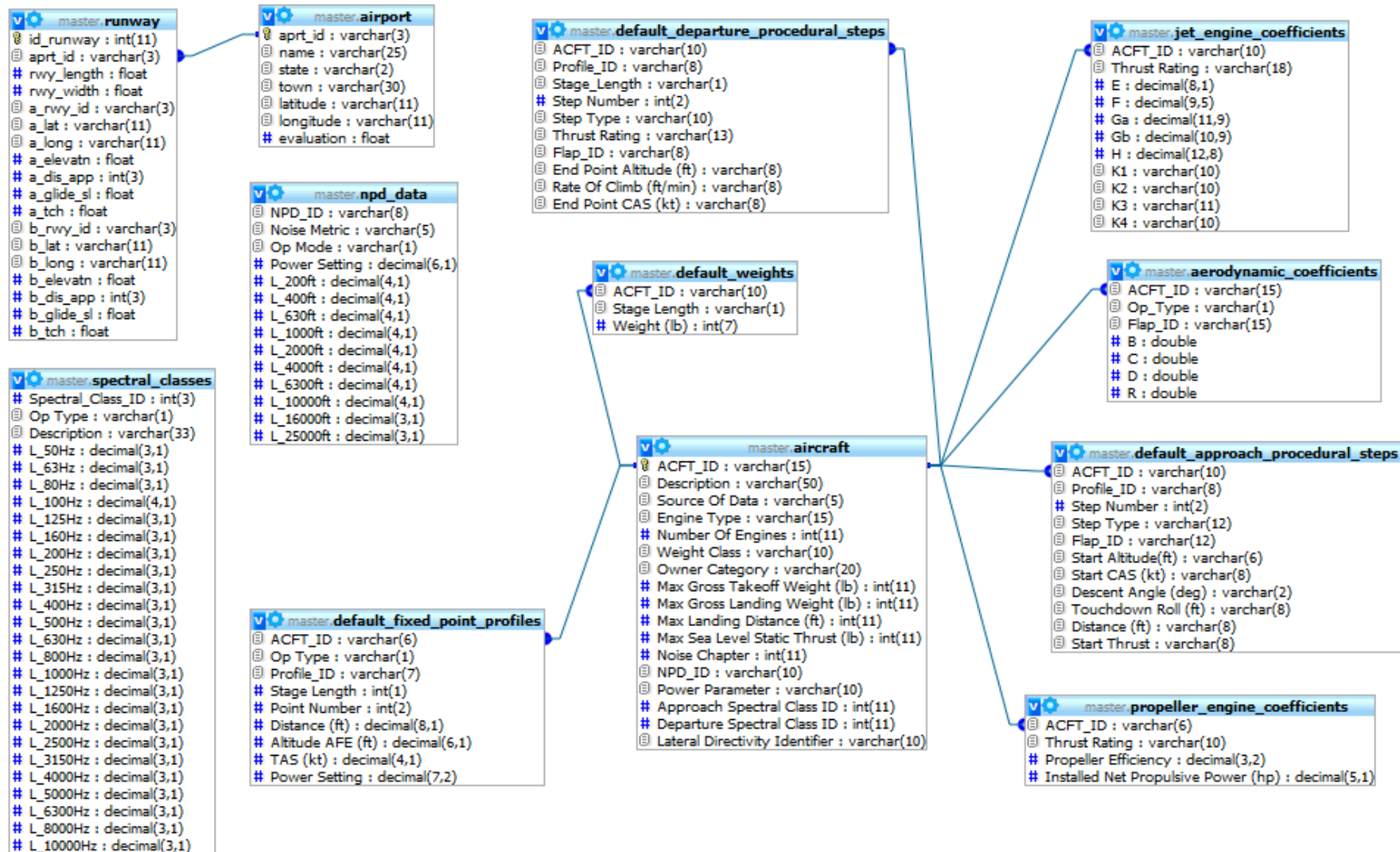
Алгоритм обчислення шуму



Архітектура програмної системи



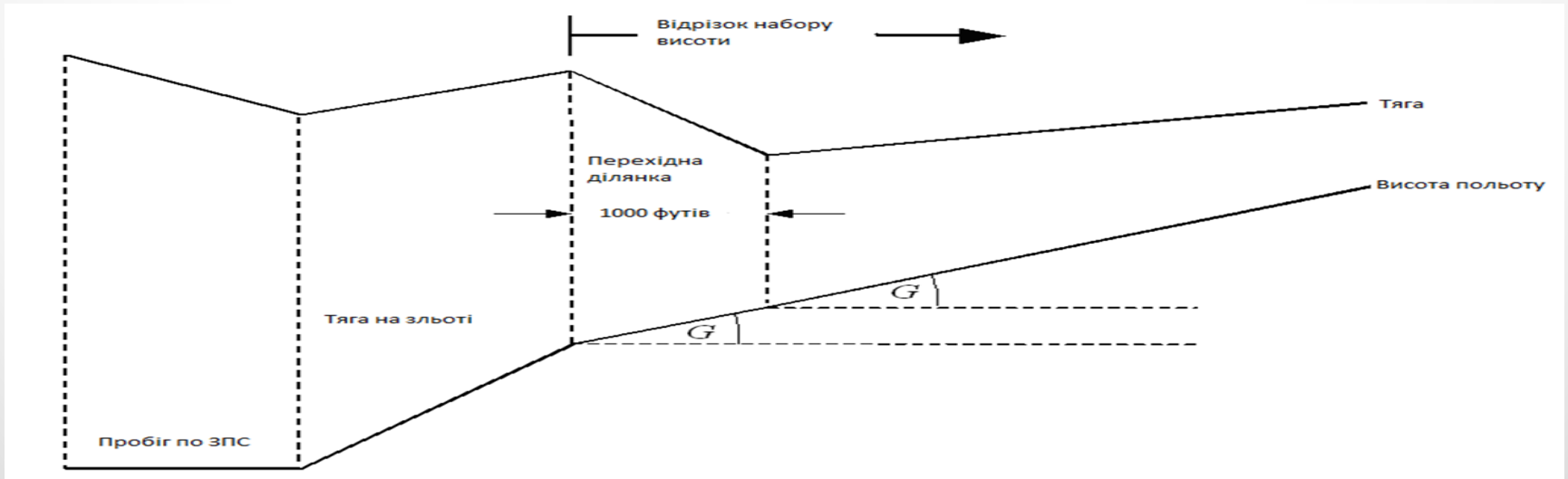
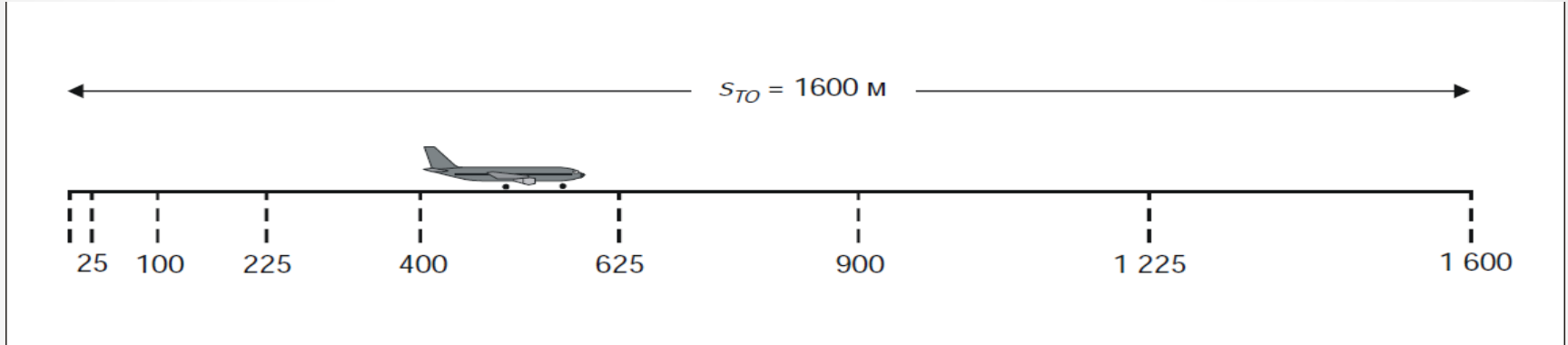
Структура БД



Вхідні дані

- БД літальних апаратів та їх акустичні характеристики для відповідних режимів на етапах зльоту та посадки;
- номінальні маршрути прильоту та вильоту повітряних суден з урахуванням процедур пілотування і діючих обмежень (встановлюються інструкцією по проведенню польотів);
- інтенсивність польотів повітряного транспорту конкретних типів, особливо шумних видів літаючих апаратів в денну, вечірню і нічну частину доби;
- розташування місць випробування для проведення форм технічного обслуговування двигунів;
- час випробування двигунів у злітному та номінальному режимах;

Сегментація ділянки розбігу та профіль польоту



Рівняння руху центру мас літака

Для розгляду етапів набору висоти і зниження літака перед посадкою використовується система з чотирьох диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = \frac{P}{m} \cos(v - \Theta - \varphi) - C_{xa} \frac{\rho v^2 S}{2m} - g \sin \Theta; \\ \frac{d\Theta}{dt} = \frac{P}{mv} \sin(v - \Theta - \varphi) + C_{ya} \frac{\rho v^2 S}{2m} - \frac{g}{v} \cos \Theta; \\ \frac{dx}{dt} = v \cos \Theta; \\ \frac{dy}{dt} = v \sin \Theta. \end{cases}$$

Перше рівняння описує прискорення при розбігу літака на злітно-посадковій смузі. Друге рівняння описує етап розбігу. Третє рівняння описує висоту польоту, четверте – поточну дальність польоту.

У наведеній системі диференціальних рівнянь використовуються наступні фазові траєкторні змінні: швидкість польоту v , кут нахилу траєкторії Θ , поздовжня координата x , вертикальна координата y ; і параметри управління рухом літака: тяга двигунів P , кут відхилення закритків δ і кут тангажу $\nu = (\alpha + \Theta - \varphi)$, де α - кут атаки, φ - кут установки двигунів, C_{xa} – коефіцієнт сили лобового опору, C_{ya} – коефіцієнт аеродинамічної підйомної сили, m – маса літака, ρ – щільність повітря, g – прискорення вільного падіння, S – площа крила літака.

Дана система диференціальних рівнянь розв'язується явним методом Рунге-Кутта 4 порядку з адаптивним кроком.

Критерії рівнів звуку

Вимірювання максимального рівня звуку проводяться за формулою:

$$L_{\text{max, ref}} = L_{\text{max}}(P, d) + \Delta_I(\phi) - \Lambda(\beta, \ell)$$

де $\Delta_I(\phi)$ - ефект встановлення двигунів;
 $\Lambda(\beta, \ell)$ - ефект поперечного затухання звуку;

Значення еквівалентного рівня шуму отримуються за формулою:

$$L_{Ae} = 10 \lg \left[\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 L_A(t)} dt \right]$$

де t_1, t_2 - час початку та закінчення впливу шуму в точці контролю, t_0 - константа нормування

Кінцеві рівняння етапів прямолінійного злету та посадки повітряного судна

Для підрахунку дистанції розбігу літака використовуються наступні розрахунки:

$$s_{TO8} = \frac{B_8 \cdot \theta \cdot (W / \delta)^2}{N \cdot (F_n / \delta)}$$

де, B_8 - коефіцієнт з бази даних ANP, визначений для зустрічного вітру 8 вузлів, фт/фунт. Для вітру, що відрізняється від зустрічного із швидкістю 8 вузлів, еквівалентна дистанція зльоту коректується за допомогою рівняння:

$$s_{TOw} = s_{TO8} \cdot \frac{(V_c - w)^2}{(V_c - 8)^2}$$

де w - поточне значення швидкості вітру з урахуванням його напрямку, вузли.

Середнє геометричне значення кута набору висоти γ відрізка визначається по формулі:

$$\gamma = \arcsin \left(K \cdot \left[N \cdot \frac{\overline{F_n / \delta}}{\overline{W / \delta}} - \frac{R}{\cos \varepsilon} \right] \right)$$

Де, K - коефіцієнт швидкості рівний 1,01, якщо $VC \geq 200$ вузлів або 0,95 в інших випадках;

R - відношення коефіцієнта опору літака до коефіцієнта підйомної сили для даної установки закрилків. Вважається, що шасі прибране.

Середнє значення скоректованої тяги розраховується за допомогою рівняння:

$$\overline{F_n / \delta} = \frac{\overline{W / \delta}}{N} \cdot \left(R + \frac{\sin \gamma}{1.03} \right)$$

Структура файла *.grd

Середовище NMPlot працює з файлами з розширенням *.grd, які складаються з дев'яти секцій, кожна з яких відповідає за певний розділ інформації:

- CART — опис координатної системи в метрах;
- SORC — місце розташування проведення сценарію, наприклад аеропорт;
- DESS — назва аеропорту;
- LINS — кількість злітно-посадкових смуг, їх характеристики;
- LINC — лінія шляху;
- DESL — опис відрізків траєкторії;
- MTRC — метод оцінки шуму;
- DPAL — список пар розташувань;
- GRID — значення рівнів шуму в точках розрахункової сітки.

Інтерфейс користувача

Modeling aircraft noise

Catalogs

Airport Input Output Log

Airport

Town: Kiev

Name: Zhulhany

Number of runways: 1

Latitude: 50.2406

Longitude: 30.2658

Meteo

Temperature: 15 degrees C

Pressure: 101325 Pa

Humidity: 70 %

Wind: 0 m/s

Runways

Runway name: 08R-26L

XL: 0.00 ZL: 0.00

XR: 3500.00 ZR: 0.00

RTL: 90.000 RTR: 270.000

Runway name: 08L-26R

XL: 580.00 ZL: 1330.00

XR: 4080.00 ZR: 1330.00

RTL: 90.000 RTR: 270.000

Tracks

Name of track: FR_26_A_01

Angle: 270.00 Segment: 3

Name: DSTR X: 0.00 Z: 8600.00

Name: DARR X: 90.00 Z: 2500.00

Name: DSTR X: 0.00 Z: 5000.00

Name of track: FR_08_D_01

Angle: 90.00 Segment: 3

Name: DSTR X: 0.00 Z: 5400.00

Name: DARR X: -90.00 Z: 2500.00

Name: DSTR X: 0.00 Z: 15000.00

Modeling aircraft noise

Catalogs

Airport Input Output Log

Events

737400 D DEFAULT 3 08R ABRUT 1 d

Number of type of events: 1 + - Clear

Aircraft: Boeing 737-400/CFM56-3C-1

ID of aircraft: 737400 ID of runway: 08R

Type of operation: Takeoff Trajectory: ABRUT

Type of procedure: DEFAULT NOFE: 1

Stage length: 3 Daytime: day

Grid

Accuracy: 8

x1: -5000.0 xDist: 55000.0

z1: -4000.0 zDist: 8000.0

number of runways: 1

number of tracks: 2

max number of segments: 3

noise criteria: LAmax

Points

number of points: 5

	xp	zp
1	6500	0
2	0	200
3	-500	0
4	-500	500
5	3000	500

xp: + -

zp: Clear

Units

mile = 1852.0 m

knot = 0.514444 m/s

pound = 0.453592 kg

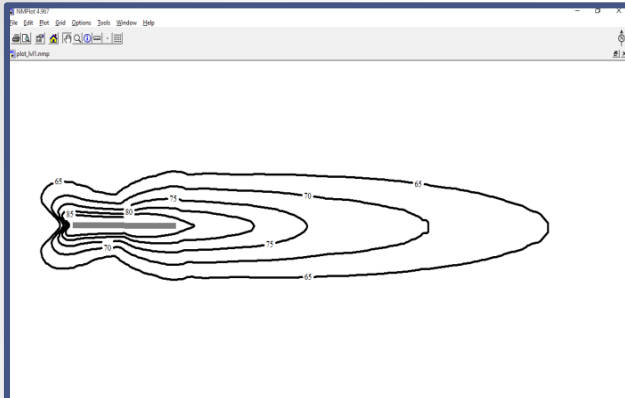
foot = 0.304800 m

inch = 2.540000 cm

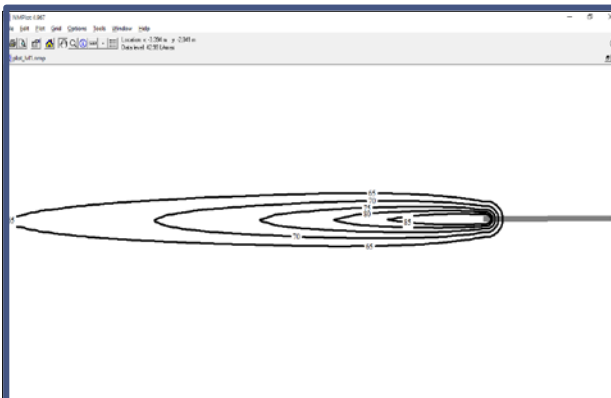
Run Scenario

Build Contour

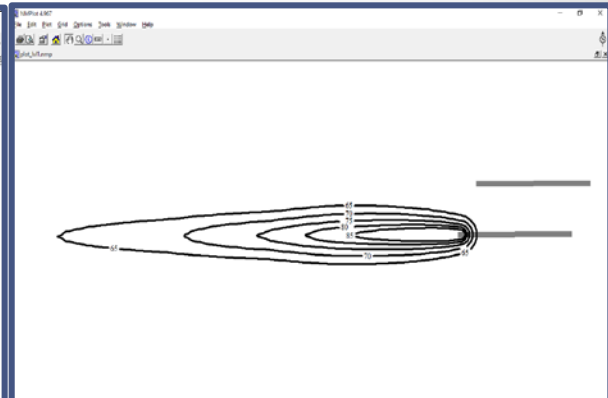
Контури шуму



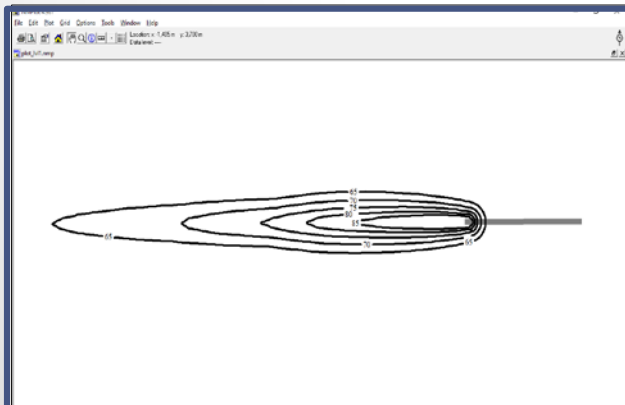
Boeing 737400, зліт Жуляни



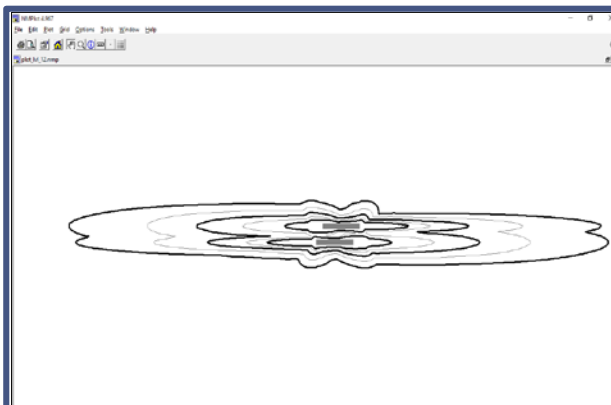
Посадка CVR-580 Святошин



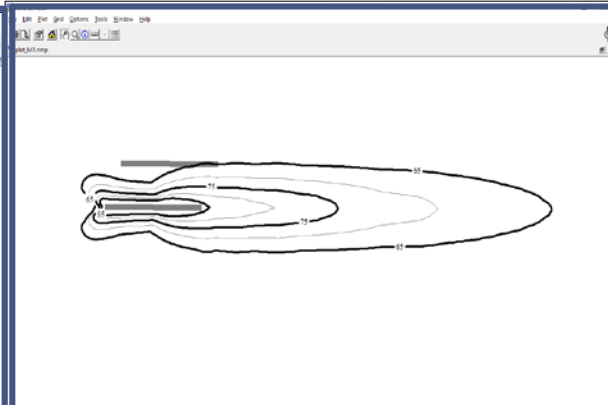
Boeing 737300, посадка
Бориспіль



Boeing 737400, посадка
Жуляни



Декілька подій злету та
посадки, Бориспіль



Boeing 737300 , зліт
Бориспіль

Висновки

- проаналізовано існуючі підходи щодо моделювання рівнів та джерел авіаційного шуму повітряних суден;
- розроблено структуру базу даних, яка враховує акустичні та льотно-технічні характеристики повітряних суден та експлуатаційні дані аеропорту;
- автоматизовано процес формування секцій для програми побудови контурів шуму;
- створено програмне забезпечення для моделювання процесу поширення авіаційного шуму повітряних суден для прямолінійної ділянки злету та посадки.
- Проведено тестування розробленого програмного забезпечення в аеропортах Києва (Бориспіль, Жуляни, Святошин)