

Л.О. Левченко, О.С. Сідько

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ

## ЗАСТОСУВАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ АВІАЦІЙНОГО ШУМУ

*Авіаційний шум залишається значним негативним чинником діяльності великих та малих аеропортів щодо його впливу на навколишнє середовище і населення, яке проживає біля аеропорту. В роботі запропоновано оцінювання авіаційного шуму в районі аеропорту шляхом моделювання з урахуванням міжнародних та правових аспектів, застосуванням ГІС-технології для візуалізації розрахованих контурів авіаційного шуму. Наведено схему компонентів програмного забезпечення для моделювання рівнів авіаційного шуму в районі аеропорту. Представлено результати розрахунку сценарію етапу зльоту літаків компанії Embraer та Airbus в аеропорту «Херсон».*

**Ключові слова:** моніторинг, авіаційний шум, програмне забезпечення, критерії оцінки, рівні шуму, контури шуму, ГІС-технологія.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Глобалізація світової економіки зумовлює активізацію міждержавних господарських зв'язків, суттєво посилюючи роль транспорту, зокрема авіаційного. В Україні значно збільшився попит на авіаперевезення, що є важливим фактором економічного зростання. За даними Державної авіаційної служби України [1] у 2017 році пасажиропотоки через аеропорти України показали історичний максимум. Так, упродовж 2017 року українські авіакомпанії перевезли рекордну кількість пасажирів – 10,55 млн. осіб. В українських аеропортах пасажиропотоки за рік збільшилися на 27,6% до 16,5 млн осіб, у тому числі у міжнародному сполученні – на 29% до 14,9 млн осіб. У першу чергу, це пов'язано із введенням безвізового режиму з ЄС, що стало поштовхом суттєвого нарощування іноземних авіакомпаній на ринку авіаліній в Україні, бажанням активних українців працевлаштуватися у країнах Євросоюзу, розвитком туризму, поліпшенням регуляторного середовища на авіаперевезення. Також збільшилися і обсяги перевезень вантажів та пошти на 26,6 відсотка та склали 37,6 тис. тонн [2]. Найбільше шумове забруднення навколишнього середовища відбувається у зоні аеропортів під час посадки і зльоту літаків, а також під час прогріву їх двигунів. Проблема несприятливого впливу авіаційного шуму як на населення, яке проживає навколо аеропорту, так і на довкілля, залишається актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [3] запропоновано концепцію щодо побудови системи моніторингу авіаційного шуму. У роботах [4–5] наведено методичний підхід та результати моделювання щодо оцінювання шумового навантаження у зоні аеропорту шляхом з урахуванням національних гігієнічних нормативів.

Однак такий підхід не враховував застосування ГІС-платформи як основи, яка може відображати різноманітні шари даних різних об'єктів інфраструктури аеропорту, накладання розрахованих контурів шуму на ГІС-карти із загальнодоступних Інтернет-сервісів.

Моніторинг рівнів шуму в аеропортах європейських міст досліджено в багатьох роботах [6–10]. Більшість дослідників зосереджують увагу на негативному впливі шуму повітряного руху на здоров'я людини та навколишнє середовище. Деякі дослідники орієнтовані на оперативні заходи для зменшення негативних наслідків шуму. У роботі [6] проаналізовано зміни, пов'язані із збільшенням трафіку, та сприйняттям шуму в аеропорту Вена столиці Австрії. Автори [7] розглядають вплив шуму на гіпертензію населення, що проживає поряд з аеропортом.

У статті [8] запропоновано базову регресійну модель – «the hedonic pricing method» щодо обчислення фінансових витрат, пов'язаних із впливом шуму. Suau-Sanchez [9] запропонував структуру шуму, що дратує в аеропорту. У роботі [10] Von der Lippe була запропонована формула обчислення кореляції даних по шуму в різних містах в залежності від кількості жителів міста.

**Метою статті** є оцінювання впливу авіаційного шуму на оточуюче середовище в залежності від типової конструкції літака, типу встановлених двигунів, режимів їх роботи на окремих етапах руху літака та поширення звуку в умовах чинної експлуатації в аеропортах цивільної авіації із застосуванням ГІС-технології.

### Викладення основного матеріалу

За прогнозом ІКАО до 2030 року буде експлуатуватися до 30 тис. літаків, щорічний приріст кількості літаків, що вводяться в експлуатацію, ста-

новить 5% [11]. Згідно того ж прогнозу до 2040 року парк повітряних суден практично збільшиться у три рази [12]. Високі темпи розвитку повітряного транспорту призвели до збільшення екологічних проблем в районі аеропорту [13].

Основними екологічними чинниками, пов'язаними з діяльністю авіації, є: шум літального апарату, шкідливі викиди авіадвигунів, звукові удари, що виникають при польотах надзвукових літаків [11]. Між тим, слід зазначити, що в цивільній авіації відбулося зміщення щодо пріоритетних завдань, а саме, на першому місці залишається безпека польотів, друге місце посідають більш жорсткі вимоги щодо екологічних характеристик повітряних суден. Головним завданням роботи Комітету ІКАО із захисту навколишнього середовища від впливу авіації (САЕР) є обмеження допустимого рівня шуму літаків та емісії шкідливих речовин, тому САЕР ініціює виробників авіаційної техніки впроваджувати новітні технології зниження шуму в їх конструкцію. У Резолюції 39-ї Асамблеї ІКАО [14] схвалено введення у дію нового більш жорсткого стандарту по шуму, який на 7 EPN дБ нижче за діючого стандарту. Новий стандарт вводиться у дію з 31 грудня 2017 року і застосовується до повітряних суден нової конфігурації, що вводяться у експлуатацію у 2017 році та до повітряних суден меншої ваги – до 2020 року. Відповідно до цього стандарту у 2017 році гранично допустимі рівні шуму у дозвукових реактивних літаків для максимальної злітної ваги літака 27 200 кг становлять 95 дБ, для максимальної злітної ваги 34 000 кг – 85 дБ. Крім того, з 2019 року буде запроваджено новий міжнародний стандарт щодо визначення допустимого рівня шкідливих викидів двигунів літаків.

У зв'язку з цим Міністром інфраструктури України Олександром Омеляном 26 січня 2017 року в було підписано з Повноважним послом Сполучених Штатів Америки Марі Йованович «Меморандум про взаєморозуміння про зниження впливу авіації на навколишнє середовище». Цей Меморандум передбачає співпрацю фахівців українського авіапрому, Державіаслужби з колегами із Центру сталого розвитку США щодо зменшення негативних впливів від авіаційних викидів, застосування найбільш передових технологій та набуття досвіду західних колег.

Враховуючи особливості конкретного аеропорту, відповідно до документу ІКАО Doc 9829, пропонується запроваджувати збалансований підхід щодо управління авіаційним шумом [15]. Такий підхід є гнучким щодо виявлення конкретної проблеми шуму і розрахований на врахування особливостей експлуатації повітряних суден в окремому аеропорту з метою визначення заходів щодо вирішення такої проблеми.

Збалансований підхід містить чотири складові: зниження шуму в джерелі, планування і організація землекористування, експлуатаційні прийоми зниження шуму, експлуатаційні обмеження щодо повітряних суден. ІКАО наполегливо рекомендує державам для реалізації збалансованого підходу ввести так званий транспарантний, тобто прозорий, процес щодо моніторингу оцінювання досягнення шумового показника і розгляду заходів, спрямованих на усунення проблеми шуму там, де вона існує.

Компонентами цього прозорого процесу є наступні: оцінювання існуючого та майбутнього впливів шуму у відповідному аеропорту у порівнянні з таким, що підлягає досягненню шумового показника; оцінка ймовірних витрат і вигоди щодо прийняття різних наявних заходів; вибір заходів з метою отримання максимальних екологічних переваг з найбільш ефективним з точки зору витрат способом; забезпечення поширення результатів оцінки; проведення консультацій з зацікавленими сторонами на різних етапах процесу від оцінки до реалізації; створення механізму вирішення спорів.

Такий підхід в аеропортах є екологічно вигідним і економічно ефективним засобом. З метою реалізації збалансованого підходу для оцінювання шумового навантаження у зоні аеропорту розроблено систему моніторингу авіаційного шуму. Така система відповідає документу ІКАО DOC 9911 [16], який є стандартом для моделювання та оцінювання контурів шуму з урахуванням санітарно-гігієнічних нормативів впливу шуму відповідно до національних та міжнародних законодавчих актів.

Дане дослідження є подальшим розвитком і удосконаленням побудови системи моніторингу авіаційного шуму, наведених у роботах [3–5].

Метод розрахунку рівнів авіаційного шуму враховує етапи зльоту, посадки літаків згідно DOC 9911, а також використовує акустичні та льотно-технічні характеристики літаків з міжнародної бази даних ANP виробників повітряних суден [17]. Для візуалізації результатів моделювання було обрано геоінформаційну систему Quantum GIS (QGIS), яка є безкоштовною для користувача, на відміну від відомих на ринку комерційних ГІС-систем ArcGIS, MapInfo, GRASS GIS, SAGA GIS. QGIS є відкритою системою, яка підтримує великий набір растрових і векторних форматів, забезпечує широкий спектр баз даних різних типів. За своїми функціональними можливостями QGIS не поступається своєму найближчому конкуренту ArcGIS. Ця ГІС-система активно підтримується спільнотою розробників QGIS Development Team. Метою розробників було створення геоінформаційної системи, яка має бути безкоштовною, з повноцінним функціоналом, легким та комфортним інтерфейсом для користувача.

На рис. 1 наведено узагальнену схему програмних компонентів системи. Дослідження акустичного стану аеропорту проводилося на прикладі аеропорту «Херсон», карта якого наведена на рис. 2.

Було протестовано набір сценаріїв щодо акустичного навантаження протягом доби з урахуванням різних типів літаків, кількості встановлених двигунів, набору критеріїв щодо оцінювання шуму, режимів експлуатації. На рис. 3 наведено вихідні дані щодо характеристик аеропорту «Херсон». На рис. 4 наведено сценарій моделювання зльоту літаків компаній Embraer та Airbus, які експлуатуються в аеропорту «Херсон» у денний час з використанням критерію оцінювання  $L_{Amax}$ .

нів, набору критеріїв щодо оцінювання шуму, режимів експлуатації. На рис. 3 наведено вихідні дані щодо характеристик аеропорту «Херсон». На рис. 4 наведено сценарій моделювання зльоту літаків компаній Embraer та Airbus, які експлуатуються в аеропорту «Херсон» у денний час з використанням критерію оцінювання  $L_{Amax}$ .

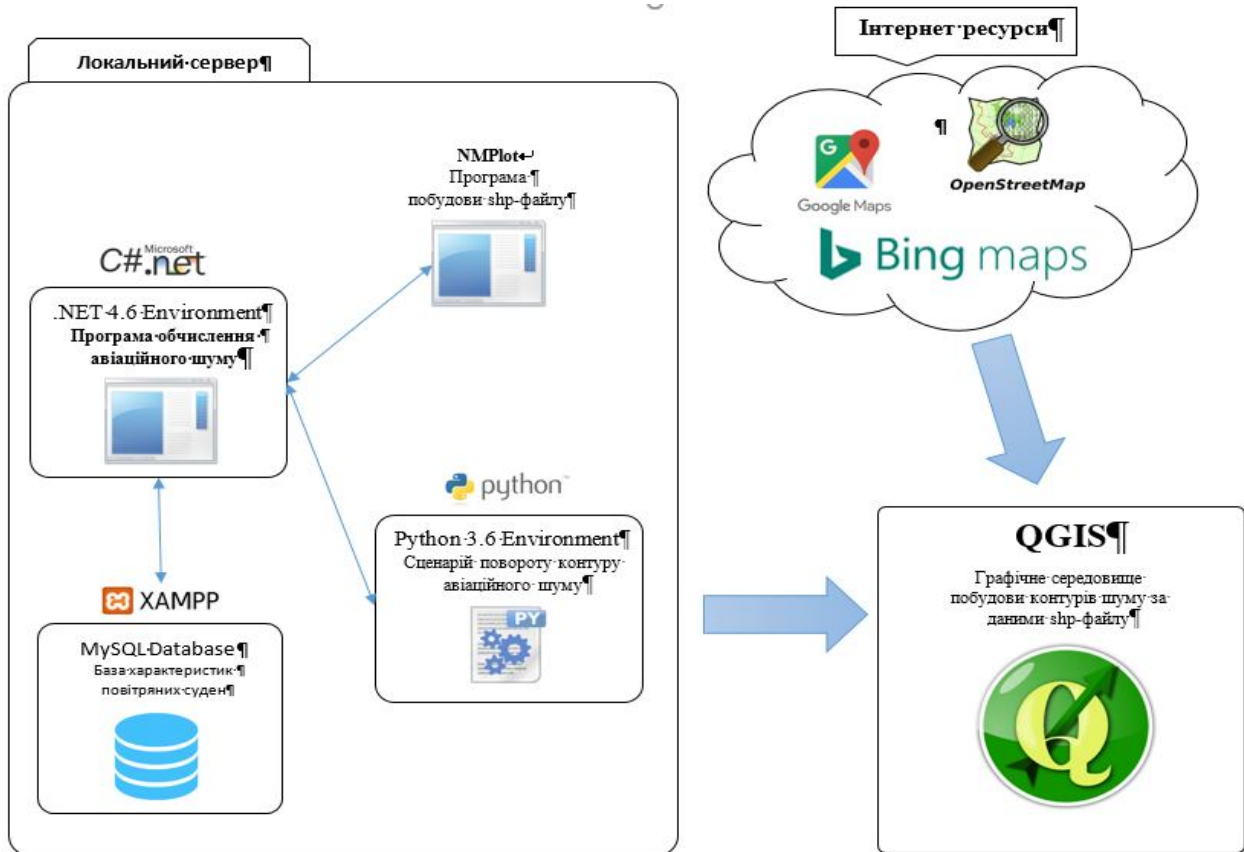


Рис. 1. Узагальнена схема програмних компонентів системи

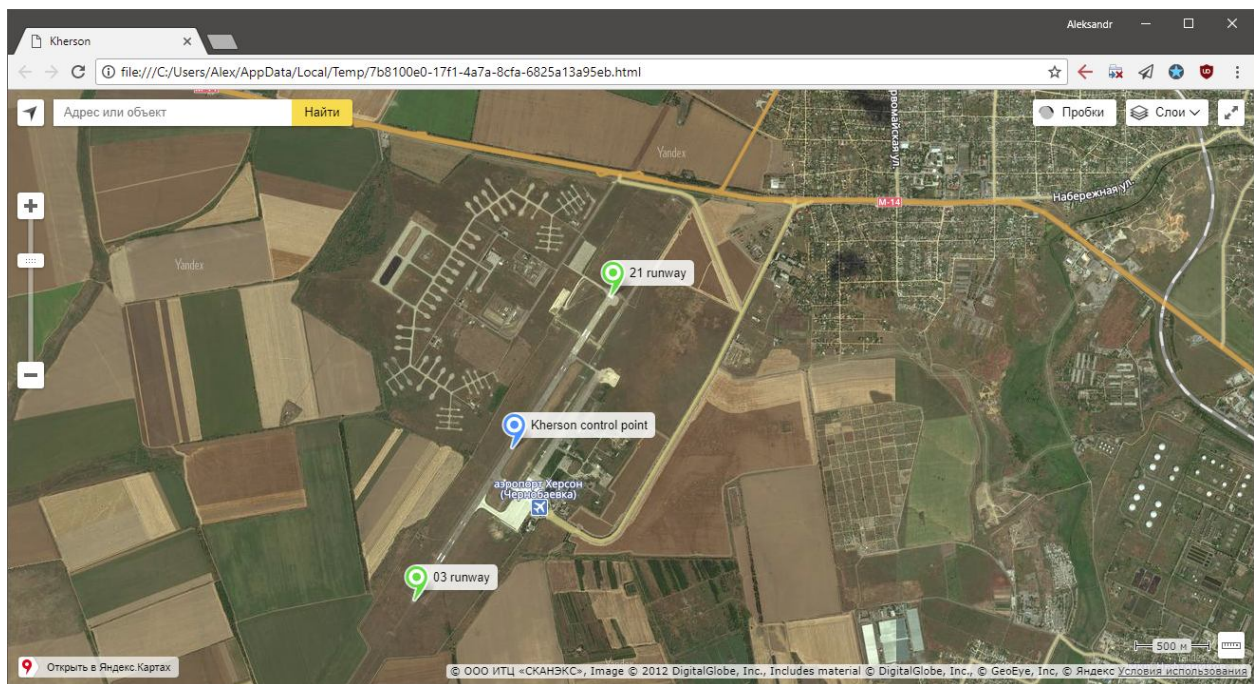


Рис. 2. Карта аеропорту «Херсон»

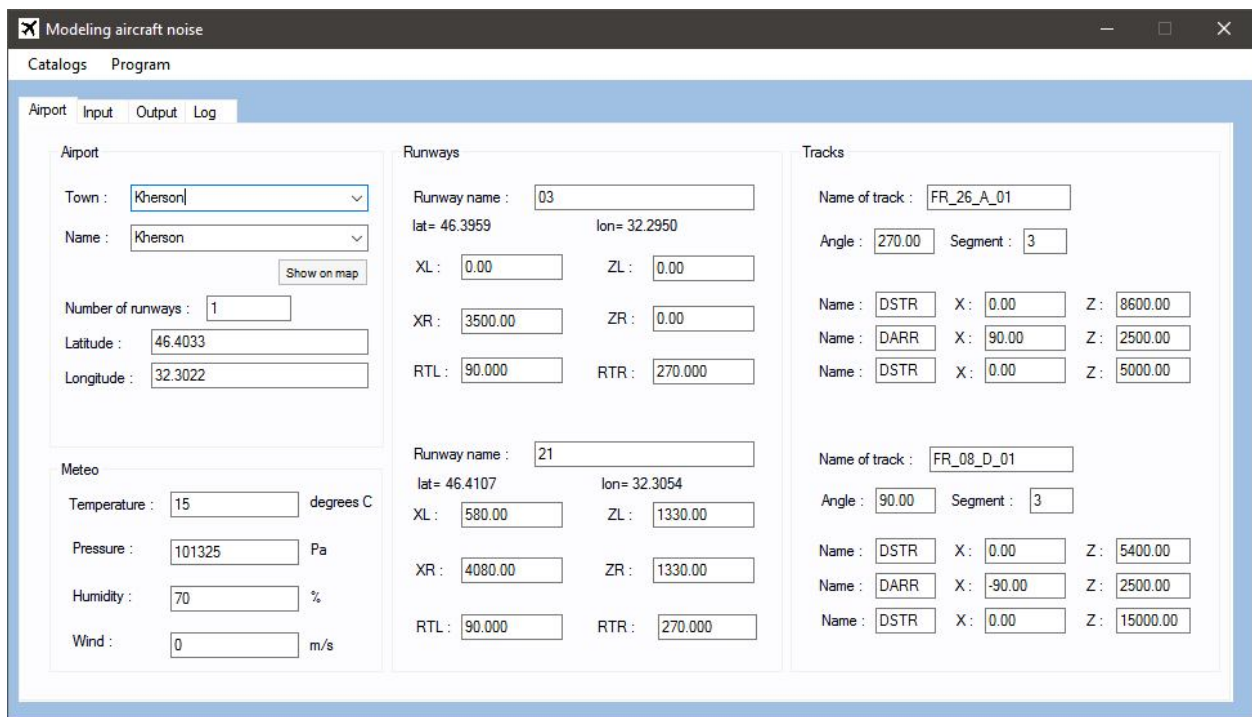


Рис. 3. Вихідні дані аеропорту «Херсон»

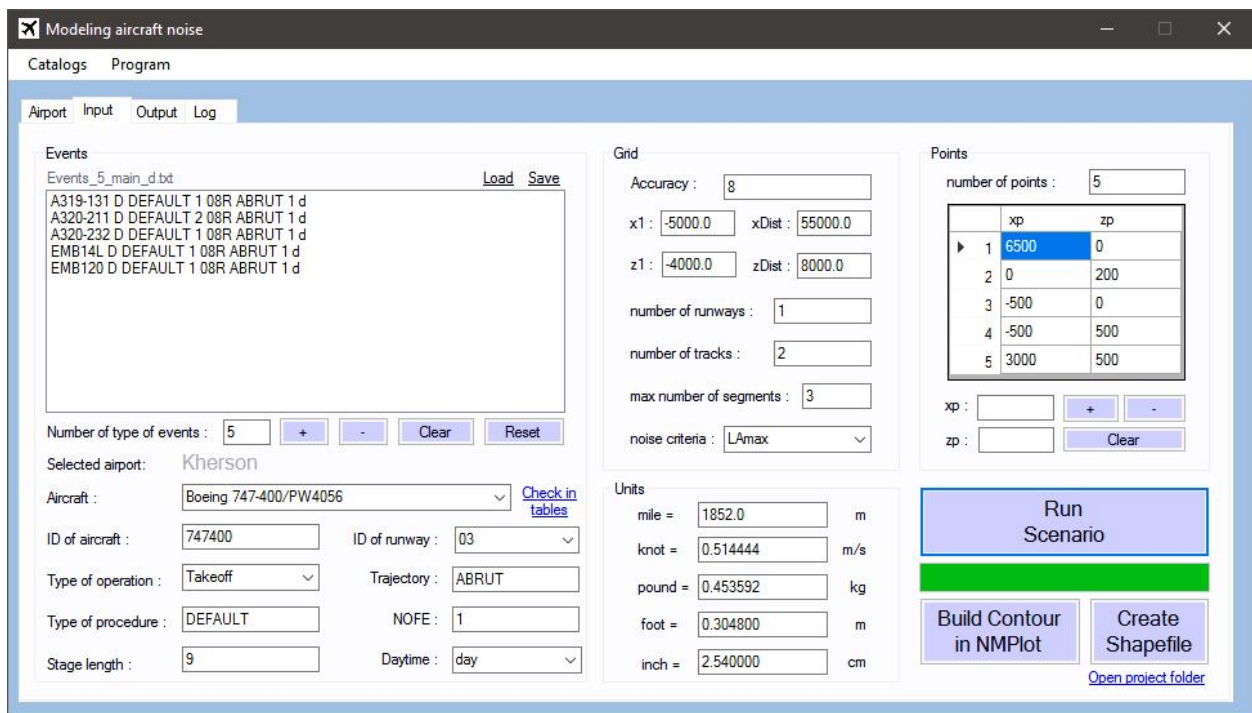


Рис. 4. Сценарій моделювання зльоту

В Україні застосовуються два критерії щодо рівнів шуму з урахуванням зон забудови (А - територія без обмежень для будівництва споруд будь-якого призначення, Б та В - території з обмеженнями, Г - непридатна територія до житлової забудови) [18], а саме:

$L_{Amax}$  – максимальний рівень шуму з коригованою частотною смугою відповідно до шкали «А» стандартного вимірювача шуму;

$L_{Aeq}$  – еквівалентний рівень шуму.

На відміну від національного нормативу по шуму в міжнародному документі DOC 9911 використовується тільки один критерій -  $L_{Amax}$ .

Так, в Україні для денного періоду (від 07.00 до 23.00) для зони А встановлені нормативи:

$$L_{Aeq} \leq 60 \text{ дБА}, L_{Amax} \leq 80 \text{ дБА},$$

для нічного періоду (від 23.00 до 07.00):

$$L_{Aeq} \leq 50 \text{ дБА}, L_{Amax} \leq 70 \text{ дБА}.$$

Для зони Б для денного періоду (від 07.00 до 23.00) визначено нормативи:

$61 \text{ дБА} \leq L_{\text{Аекв}} \leq 65 \text{ дБА}$  та  $81 \text{ дБА} \leq L_{\text{Аmax}} \leq 85 \text{ дБА}$ ,  
для нічного періоду (від 23.00 до 07.00):

$51 \text{ дБА} \leq L_{\text{Аекв}} \leq 55 \text{ дБА}$ ,  $71 \text{ дБА} \leq L_{\text{Аmax}} \leq 75 \text{ дБА}$ .

Для порівняння з іншими країнами нормативні максимальні рівні шуму від окремих прольотів літаків у денний / нічний періоди становлять для:

США – 99/89 дБА,

Великобританії – 97/89 дБА,

Нідерландів – 98/98 дБА,

Швейцарії – 100/95 дБА,

України та Росії – 85/75 дБА.

На рис. 5 наведено розраховані і побудовані контури шуму програмою NMPlot згідно сценарію моделювання, наведеного на рис. 4. На рис. 6 наведено контури шуму, перенесені на ГІС-карту.

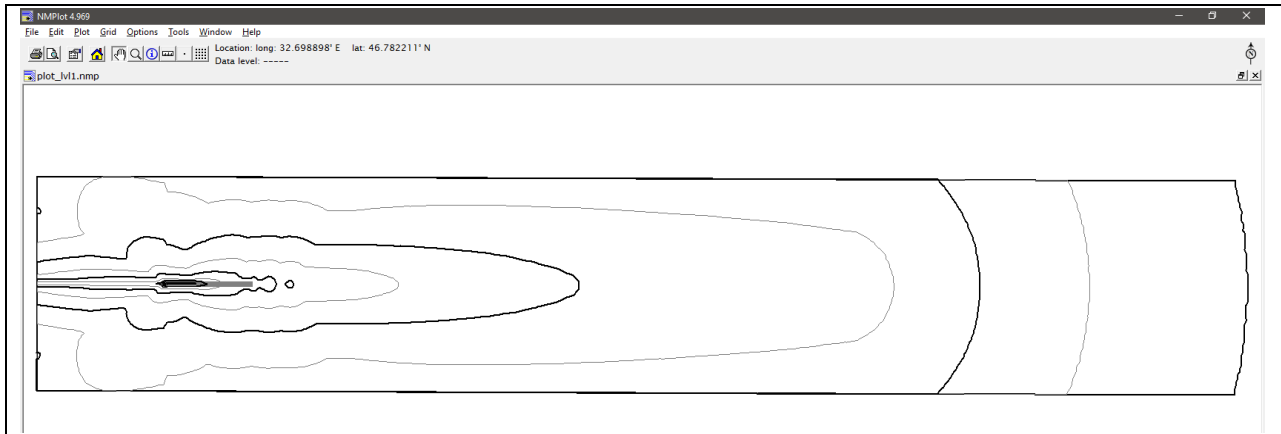


Рис. 5. Контури рівнів шуму, побудовані програмою NMPlot

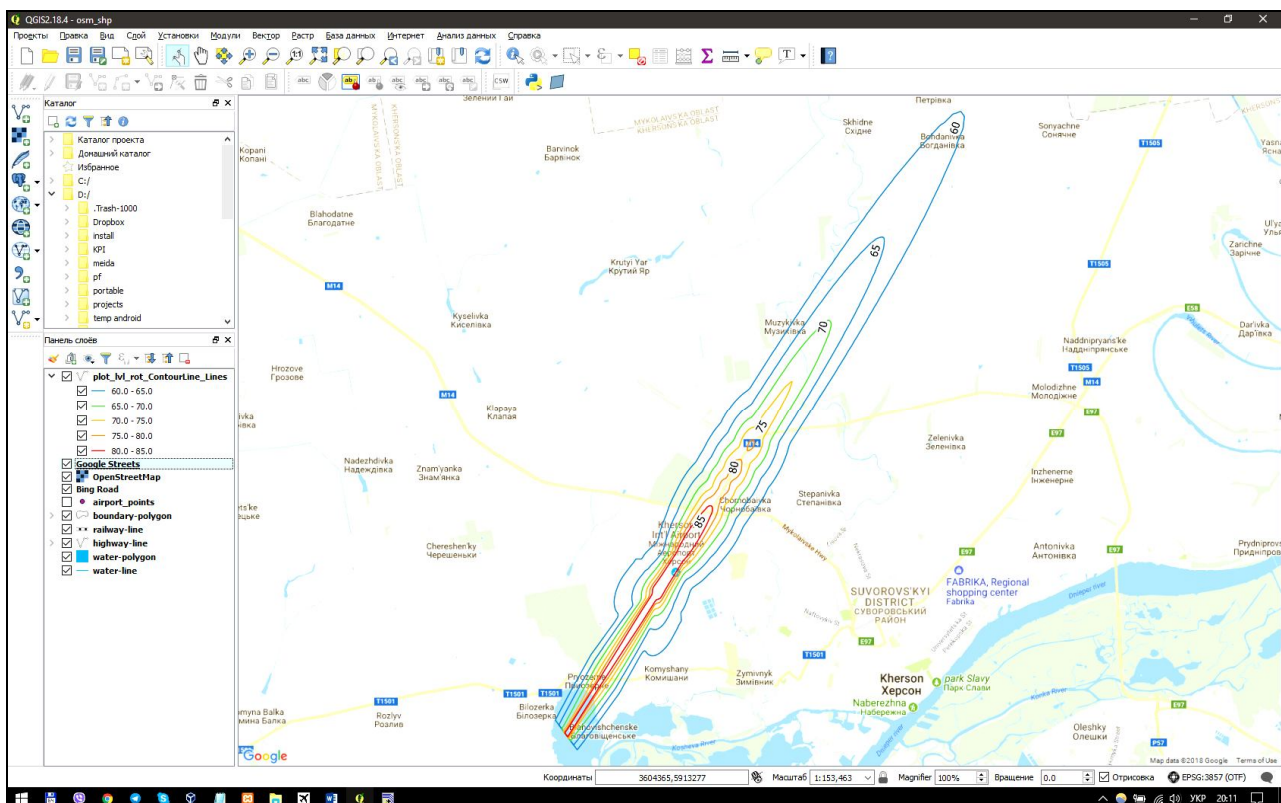


Рис. 6. Контури рівнів шуму, нанесені на ГІС-карту

Результати моделювання показують, що розраховані контури рівнів шуму відповідають гранично допустимим значенням.

## Висновки

1. Запропоновано застосування збалансованого підходу як механізм індивідуального підходу

управління авіаційним шумом з урахуванням особливостей конкретного аеропорту.

2. Доведено, що моделювання розрахунків рівнів авіаційного шуму є мінімально затратним у порівнянні з експлуатаційними обмеженнями для оцінювання і прогнозування акустичної обстановки як у поточний час, так і на перспективу.

3. Запропоновано і реалізовано застосування ГІС-технології для візуалізації розрахованих контурів шуму в районі аеропорту та об'єктів аеропорту.

4. Наведено результати розрахунку сценарію етапу зльоту двох літаків бразильської авіабудівної компанії Embraer (EMB14L, EMB120) та трьох літаків європейської авіабудівної компанії Airbus (A319-131, A320-211, A320-232), які виконують польоти в аеропорту «Херсон».

Встановлено, що рівні шуму біля злітно-посадкової смуги є гранично-допустимими.

### Список літератури

1. Топалов М. Авіап перевезення б'ють рекорди: чому це добре для пасажирів / М. Топалов. – URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/02/8/633878>.
2. Статистичні дані в галузі авіатранспорту // Міністерство інфраструктури України. – URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-v-galuzi-aviatransportu.html>.
3. Левченко Л.О. Концептуальний підхід до побудови системи моніторингу авіаційного шуму / Л.О. Левченко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип.2 (34). – С. 120 – 123.
4. Левченко Л.О. Моделювання шумового навантаження, утвореного повітряними суднами / Л.О. Левченко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип.3 (35). – С. 170 – 173.
5. Запорожець О.І. Оцінювання шумового впливу від повітряних суден в районі аеропорту / О.І. Запорожець, Л.О. Левченко // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2017. – Вип. 1/2017 (102). – С. 121 – 128.
6. Jelinek-Nigitz Heideleine Vienna International Airport Noise Abatement / Heideleine Jelinek-Nigitz // Journal of Airline and Airport Management (JAIRM). – 2016. – Iss. 6(1). – P. 61 – 91.
7. Annoyance due to aircraft noise has increased over the years-Results of the HYENA study / W. Babisch, D. Houthuijs, G. Pershagen, E. Cadum, K. Katsouyanni, M. Veionakis et al. // Environment International (online journal). – 2009. – Iss. 35/ – P. 1169 – 1176.
8. Dekkers J. Monetary valuation of aircraft noise: A hedonic analysis around Amsterdam airport/ J. Dekkers, W. van der Straaten // Ecological Economics (online journal). – 2009. – Iss. 68. – P. 2850 – 2858.
9. Suau-Sanchez P. Incorporating annoyance in airport environmental policy: Noise, societal response and community participation / P.Suau-Sanchez, M. Pallares-Barbera, V.Paul // Journal of Transport Geography (online journal). – 2011. – 19 P.
10. Von der Lippe, P. Wie gros muss meine Stichprobengroesse sein, damit sie repraesentativist (online document) / P. Von der Lippe. – (2011). – [Available online at]: <http://www.von-der-lippe.org/dokumente/Wieviele.pdf>.
11. Копьев, В.Ф. Проблемы экологии летательных аппаратов / В.Ф. Копьев, А.Г. Мунин, С.А.Чернышев // Техника воздушного флота. – 2012. - №1. - С. 40-46.
12. Халецкий Ю.Д. ИКАО: новый стандарт на шум самолетов гражданской авиации / Ю.Д. Халецкий // Двигатель. – 2014. – № 2. – С. 8–11.
13. Халецкий, Ю. Д. Экологические проблемы авиации / Ю. Д. Халецкий. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. – 504 с.
14. ICAO АССАМБЛЕЯ – 39-я СЕССИЯ, Монреаль, 27 сентября – 6 октября 2016 года. – 148 с.
15. ICAO DOC 9829 AN/451 Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management Ed 2. – Canada, Montreal: ICAO, 2008. – 130 p.
16. Doc 9911, Руководство по рекомендуемому методу расчета контуров шума вокруг аэропортов. ИКАО. – 2008. – 131 с.
17. Aircraft and Noise Performances (ANP) Database <http://www.aircraftnoisemodel.org>.
18. Державні санітарні норми і правила планування та забудови населених пунктів. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.96 № 173. – К.: Укрбудінформ, 2002. – 59 с.

Надійшла до редколегії 26.02.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Запорожець, Національний авіаційний університет, Київ.

### ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ШУМА

Л.А. Левченко, А.С. Сидько

Авиационный шум остается значительным негативным фактором деятельности крупных и малых аэропортов касательно его влияния на окружающую среду и население, проживающее возле аэропорта. В работе предложено оценивание авиационного шума в районе аэропорта, используя моделирование, с учетом международных и правовых аспектов, применением ГИС-технологии для визуализации рассчитанных контуров авиационного шума. Приведена схема компонентов программного обеспечения для моделирования уровней авиационного шума в районе аэропорта. Представлены результаты расчета сценария этапа взлета самолетов компаний Embraer и Airbus в аэропорту «Херсон».

**Ключевые слова:** мониторинг, авиационный шум, программное обеспечение, критерии оценки, уровни шума, контуры шума, ГИС-технология.

### GIS-TECHNOLOGY APPLICATION FOR THE VISUALIZATION THE MODELING RESULTS OF THE SPREADING AIRCRAFT NOISE

L.A. Levchenko, O.S. Sidko

Aircraft noise is remained a significant negative factor in the activities of large and small airports regarding its impact on the environment and the population living near the airport. In this paper is proposed the estimation of aircraft noise in the airport area with the using modeling, taking into account international and legal aspects, the using of GIS technology to visualize the calculated contours of aircraft noise. A scheme of software components for modeling aircraft noise levels in the airport area is presented. The results of the calculation the scenario the take-off stage aircrafts of Embraer and Airbus companies at the airport "Kherson" are presented.

**Keywords:** monitoring, aircraft noise, the software, evaluation criteria, noise levels, noise contours, GIS-technology.