

УДК 629.7.08, 519.171

АНАЛІЗ УКРАЇНСЬКОЇ, ТУРЕЦЬКОЇ, МОЛДАВСЬКОЇ ПОВІТРЯНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ ГРАФІВ**Іващук Олег***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Іван Остроумов, д.т.н., проф., с.н.с.*

Ключові слова: аналіз, графи, повітряні маршрути, цивільна авіація, повітряний транспорт, мережа

На даний момент Український повітряний простір закритий у зв'язку з російською агресією проти України, проте цілком можливо що найближчим часом це зміниться і повітряний простір відкриють [1, 2]. Так як про відновлення повітряного сполучення з Російською Федерацією і мови йти не може, основні напрямки для відновлення сполучення буде захід і південь. Для кращого розуміння можливостей наших сусідів необхідно провести аналіз їх повітряного простору і мережі повітряних маршрутів. Проведення аналізу за допомогою теорії графів дозволить оцінити найбільш навантажені та часті використані маршрутні точки на основі конфігурації мережі. Отримані дані є корисними адже це дасть можливість порівняти результати з отриманими при дослідженні української мережі [3, 4] і провайдером аеронавігаційних послуг покращити існуючу мережу.

Об'єктом дослідження виступає повітряний простір і повітряні маршрути. Метод що використовуються статичний. Данні були зібрані з збірників аеронавігаційної інформації досліджуваних країн. На основі отриманих даних була сформована база даних маршрутів і аеронавігаційних точок, яку я в подальшому використовував при проведенні моделювання в програмному середовищі python. Мережу повітряних маршрутів можна представити у вигляді матриці, розмір якої дорівнює кількості точок у мережі. Ребра між маршрутними точками визначаються як матриця суміжності: $R_i, j = 1$, якщо між точкою i і j є маршрут, $R_i, j = 0$, якщо немає. Зважена матриця суміжності (A) може бути отримана таким чином:

$$A=RD,$$

де D – матриця геометричних відстаней між маршрутними точками.

Ефективність кожної точки маршруту можна оцінити ступенем вузла, тобто сумою кількості ребер, що виходять з нього, помножених на вагу кожного ребра. Ступінь вузла є основним показником конфігурації графа, який є загальною кількістю ребер, підключених до кожного вузла:

$$d_j = \sum_{i=1}^n g_{i,j}.$$

Центральність по близькості вузла є оберненою величиною середньої відстані по найкоротшим шляхам з усіх суміжних вузлів до даного вузла. Центральність загрузки вузла це частка всіх найкоротших шляхів що проходять через нього. Степень посередництва представляє суму часток найкоротший шляхів що проходять через вузол [5,6].

В результаті дослідження було виявлено що мережа повітряних маршрутів Молдови складається з 38 аеронавігаційних точок та 42 маршрутів, Турецька 661 аеронавігаційних точок та 1230 маршрутів, Українська з 381 аеронавігаційних точок та 570 маршрутів.

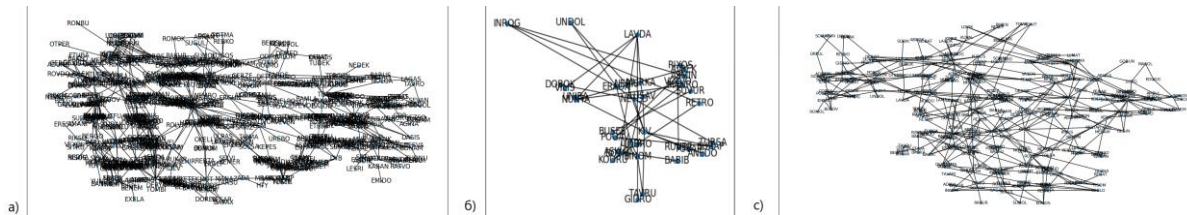


Рис 1. Графи: а)Туреччини, б) Молдови, с) України

В результаті аналізу можна сказати, що повітряні мережі кожної з досліджуваних країн є досить розвинутими. Точками з найбільшим підключенням є 'ODESE' в Україні, 'KIV' в Молдові і 'BAG' в Туреччині з урахуванням того що ці точки також є одними з найбільш перевантажених слід прийняти це до уваги як провайдером аеронавігаційних послуг так і пілотам при прокладанні маршруту.

Список використаних джерел:

1. Ivashchuk O., Ostroumov I.V. Impact of Closed Ukrainian Airspace on Global Air Transport System. International Scientific-Practical Conference Information Technology for Education, Science and Technics, ITTEST. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. 2023. № 178. P. 51-64. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0_4.
2. Ostroumov I.V., Ivashchuk O., Kuzmenko N.S. Preliminary Estimation of war Impact in Ukraine on the Global Air Transportation. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2022. P. 281-284. <https://doi.org/10.1109/ACIT54803.2022.9913092>.
3. Ivashchuk O., Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Sushchenko O., Averyanova Yu., Solomentsev O., Zaliskyi M., Yanovsky F., Shcherbyna O. A Configuration Analysis of Ukrainian Flight Routes Network. 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2021. P. 6-10. <https://doi.org/10.1109/CADSM52681.2021.9385263>.
4. Ivashchuk O., Ostroumov I.V. Graph Analysis of Connections in Ukrainian-Turkish Flight Routes Networks. 2023 IEEE 7th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), Kyiv, Ukraine. 2023. P. 7-11. <https://doi.org/10.1109/MSNMC61017.2023.10329190>.
5. M. Newman, Networks. Oxford university press, 2018, 793 p.
6. Ivashchuk O., Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. A Graph Analysis of Aviation Enroute Network. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2022. P. 396-399. <https://doi.org/10.1109/ACIT54803.2022.9913097>.