

УДК 629.783(043.2)

**Гуровська А.В.**, аспірант

**Конін В.В.**, д.т.н, проф.

*Національний авіаційний університет, м. Київ*

## **ПЕРЕТВОРЕННЯ АЛЬМАНАХУ СИСТЕМИ STARLINK В ФОРМАТ YUMA**

На сьогоднішній день активно заповнюється навколоземний космічний простір низькоорбітальними супутниками зв'язку як, наприклад, нові системи Starlink, OneWeb, Сфера та вже діючі Iridium, Globalstar, Гонець. Низькоорбітальними вважаються супутники з висотами від 160 км до 2000 км над поверхнею Землі. Їх орбіти схильні до максимальних обурень з боку гравітаційного поля Землі та її верхньої атмосфери. Кутова швидкість супутників ЛЕО максимальна - від  $0,2^{\circ}/\text{с}$  до  $2,8^{\circ}/\text{с}$ , періоди звернення від 87,6 хвилин до 127 хвилин. Інформація про ці системи доступна в Інтернеті як і формати орбітальних параметрів.

Пошук альтернатив GNSS привів до розгляду можливості визначення позиції, навігації, часу (Position, Navigation and Timing (PNT)) із використанням низькоорбітальних супутникових систем. На прикладі Iridium показується, що низькоорбітальні супутники забезпечують глобальне покриття, за рахунок збільшення чисельності супутників може бути збільшена точність визначення позиції споживачів супутникової інформації, а також має місце переваги через сильніші сигнали низькоорбітальних супутників, оскільки вони в кілька разів ближче до Землі, порівняно з навігаційними.

У цій роботі оцінюють потенційні можливості використання супутникової системи Starlink для навігації. Вибір цієї системи обумовлений тим, що вже в даний час на орбіті знаходяться близько 1800 супутників і передбачається, що їхня кількість буде доведена до 12000 тисяч. Starlink — глобальна низькоорбітальна супутникова система, що розгортається компанією SpaceX для забезпечення високошвидкісного ширококутового доступу в Інтернет у місцях, де він був ненадійним, дорогим або повністю недоступним. SpaceX почала надавати комерційні послуги доступу в Інтернет у північній частині США та Канаді у 2020 році. Станом на серпень 2021 року кількість користувачів бета-тестерів Starlink досягла 100 000 у 14 країнах світу.

Алгоритм вирішення поставленого завдання складається з кількох методів. Отримуємо альманах параметрів супутників Starlink у типовому для вирішення навігаційних завдань форматі Yuma із дворядкового формату «...tle».

Застосовуємо метод розрахунку координат супутників за даними альманаху, що викладено в інтерфейсному контрольному документі GPS. Визначаємо щодо заданої позиції споживача видимі супутники та обчислюємо дальність до них.

Формуємо проєкційну матрицю і методом найменших квадратів вирішуємо навігаційну задачу, одночасно визначаючи діаграму видимості супутників геометричний фактор у топоцентричній системі координат, кути видимості позиції споживача з супутників.

Параметри супутників Starlink YUM 4, YUM 8, YUM 13 розраховані за програмою MatLab read\_tle.m з пакету програм стенфордського університету MAAST15.

Після перетворення отримуємо файл альманаху супутників Starlink. У дослідженні використовувався 1680 супутників. За даними альманаху, застосовуючи формули для розрахунку ефемерид розраховувалися координати супутників на інтервал часу, що задається.

Для розрахунку «псевдодальностей» до супутників, що у зоні видимості споживача ставилася позиція споживача системі координат ECEF: Rx, Ry, Rz. Після заключного етапу ітерацій позначимо проекційну матрицю з індексом належності до системи координат ECEF.

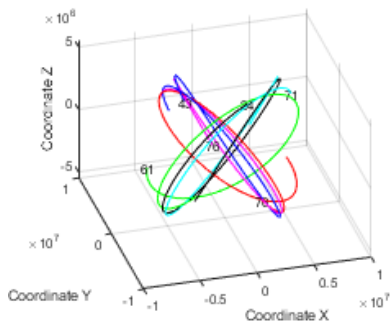


Рис. 1

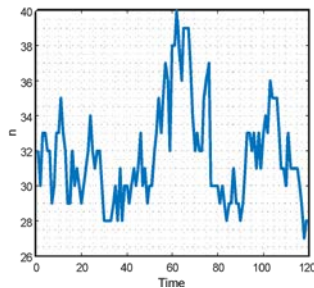


Рис.2

На Рис.1 показані орбіти деяких супутників, Рис.2 відображає кількість супутників, що знаходяться в зоні видимості споживача на інтервалі часу 120 хвилин при куті маски 15 градусів. Мінімальна кількість супутників у точці 118 дорівнює 27 (позиція 1), максимальна - у точці 62-40 (позиція 2).

1. <https://uk.mathworks.com/discovery/optimal-control.html>
2. <https://www.aimsciences.org/article/doi/10.3934/naco.2021005>