**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Національний авіаційний університет**

**Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій**

**Кафедра аеронавігаційних систем**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри**

**д-р техн. наук, проф.**

**В.Ю. Ларін**

**« » 2020 р.**

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

випускника ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

За освітньо-професійною програмою

«Системи аеронавігаційного обслуговування»

**Тема: «Методика побудови системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування в Україні»**

|  |  |
| --- | --- |
| **Виконав:** | **\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Є.В. Тесля** |
|  |  |
| **Керівник: к. т. н., доцент** | **\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.М. Креденцар** |

|  |  |
| --- | --- |
| **Нормоконтролер** | **\_\_\_\_\_\_\_\_\_Т.Ф. Шмельова** |

**Київ 2020**

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**

**NATIONAL AVIATION UNIVERSITY**

**FACULTY OF AIR NAVIGATION, ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS**

**AIR NAVIGATION SYSTEMS DEPARTMENT**

**PERMISSION FOR DEFENCE**

**Head of the Department**

**Doctor of Sciences (Engineering), prof. \_\_\_\_\_\_V.Yu. Larin**

**"\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_\_ 2020**

**MASTER’S THESIS**

**ON THE EDUCATIONAL PROFESSIONAL PROGRAM**

**"SYSTEMS OF AIR NAVIGATION SERVICE"**

(EXPLANOTARY NOTE)

**Theme: "Methodic of organization of the Remote Tower System in Ukraine"**

**Performed by:**   **Y.V. Teslia**

**Supervisor: Candidate of Sciences**

**(Engineering) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ S.M. Kredentsar**

**Standard inspector     \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ T.F. Shmelova**

**KYIV 2020**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

Освітня ступінь «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма «Системи аеронавігаційного обслуговування»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

д-р техн. наук, проф.

В.Ю. Ларін

« » 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

**Теслі Євгенія Владиславовича**

1. Тема дипломної роботи: «Методика побудови системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування в Україні» затверджена наказом ректора від 24.10.2019 №2476/ст.
2. Термін виконання роботи: 15.10.2019 - 27.01.2020.

Вихідні дані до дипломної роботи: концепція Remote Tower, координати аеропортів, структура системи повітряного руху України.

Зміст пояснювальної записки: методика побудови системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування в Україні.

Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки, таблиці, скріншоти, блок схем і алгоритмів. Графічний (ілюстративний) матеріал виконано з використанням Power Point і представлено у вигляді презентацій.

Календарний план-графік

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Завдання | Термін виконання | Відмітка про виконання |
| 1 | Попередній аналіз проблеми, підготовка та написання 1 розділу . | 15.10.19 – 28.10.19 |  |
| 2 | Формулювання цілей та завдань дослідження, написання 2 розділу. | 29.10.19 – 11.11.19 |  |
| 3 | Розробка програмного забезпечення, написання 3 розділу . | 12.11.19 – 9.12.19 |  |
| 4 | Підготовка доповіді та презентаційних матеріалів. | 14.01.19 – 27.01.19 |  |

Дата видачі завдання 15.10. 2019 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Креденцар Світлана Максимівна

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Тесля Євгеній Владиславович

**РЕФЕРАТ**

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Методика побудови системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування в Україні» містить сторінки, рисунки, таблицю, використані джерела.

*Об’єкт дослідження* – дистанційне аеродромне диспетчерське обслуговування .

*Предмет дослідження* – система дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування України.

*Мета роботи* – розробити методику побудови системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування Remote Tower на території України.

*Методи дослідження* – аналіз існуючих систем дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування, комп’ютерне моделювання структури системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування України з використанням створеного програмного забезпечення.

У дипломній роботі обґрунтовується доцільність встановлення системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування Remote Tower. Пропонуються алгоритмічні методи та розробляється програмне забезпечення для визначення точок можливого встановлення Remote Tower. Запропоновано результати досліджень щодо розрахунку координат розміщення точок можливого встановлення Remote Tower на території України.

**ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ**

ЗМІСТ

[ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ 9](#_Toc31227082)

[ВСТУП 16](#_Toc31227083)

[РОЗДІЛ №1 17](#_Toc31227084)

[Дистанційне аеродромне диспетчерське обслуговування 17](#_Toc31227085)

[1.1.Концепція дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування ДАДО (Remote Tower) 17](#_Toc31227086)

[1.2. Аналіз існуючих систем дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) 21](#_Toc31227087)

[1.3. Стан розвитку дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) в Україні. 30](#_Toc31227088)

[1.4. Постановка задач дипломної роботи 36](#_Toc31227089)

[Висновки до РОЗДІЛУ №1 39](#_Toc31227090)

[РОЗДІЛ №2 41](#_Toc31227091)

[Перспективи впровадження дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) в Україні 41](#_Toc31227092)

[2.1.Аналіз стану аеродромного обслуговування України 41](#_Toc31227093)

[2.2. Структура системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування України 46](#_Toc31227094)

[2.3.Синтез системи віддаленого диспетчерського обслуговування України. 53](#_Toc31227095)

[2.3.1.Методика розрахунку розміщення точок дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) на території України 57](#_Toc31227096)

[2.3.2.Розрахунок компонентів системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) 58](#_Toc31227097)

[2.4.Синтез структури системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) України 65](#_Toc31227098)

[Висновки до РОЗДІЛУ №2 67](#_Toc31227099)

[РОЗДІЛ №3 69](#_Toc31227100)

[Програмне забезпечення 69](#_Toc31227101)

[3.1.Програмний розрахунок координат точок дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower). 69](#_Toc31227102)

[3.2.Уточнення координат розташування точок дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) з урахуванням мінімальних відстаней до аеропортів та щільності повітряного руху. 79](#_Toc31227104)

[3.3.Узагальнення структури системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) 81](#_Toc31227106)

[Висновки до РОЗДІЛУ №3 85](#_Toc31227108)

[ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 86](#_Toc31227113)

[ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 90](#_Toc31227118)

[ДОДАТОК А 94](#_Toc31227119)

# ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

|  |  |
| --- | --- |
| ADS-B | AutomaticDependentSurveillance-Broadcast - автоматичне залежне спостереження - широкомовне |
| AFIS | AerodromeFlightInformationService - польотно-інформаційне обслуговування на аеродромі |
| AFIZ | AerodromeFlightInformationZone - аеродромна зона польотної інформації |
| AFTN | AeronauticalFixedTelecommunicationNetwork - мережа авіаційного фіксованого електрозв'язку |
| AFUA | AdvanceFlexibleUseofAirspace - вдосконалене гнучке використання повітряного простору |
| AIM | AeronauticalInformationManagement - управління аеронавігаційною інформацією |
| AIRAC | AeronauticalInformationRegulationandControl - регламентація та контролювання аеронавігаційної інформації |
| AIS | AeronauticalInformationService - Обслуговування аеронавігаційної інформації |
| AMAN | ArrivalMANager - система менеджменту прибуття |
| AMC | AirspaceManagementCell - орган менеджменту повітряного простору |
| AMHS | AeronauticalMessageHandlingSystem - система обробки повідомлень ОПР |
| APM | ApproachPathMonitoring - моніторинг траєкторії польоту на глісаді |
| APV | ApproachProcedureswithVerticalguidance - заходження на посадку з вертикальним наведенням |
| APW | AreaProximityWarning - попередження про наближення до зони обмеження польотів |
| ARO | AirTrafficServiceReporting Office - пункт збору донесень щодо ОПР |
| ARTAS | ATM surveillanceTrackerand Server |
| ASBU | AviationSystemBlockUpgrades - вдосконалення блоків авіаційних систем |
| ASM | AirspaceManagement - управління використанням (менеджмент) повітряного простору |
| ASTERIX | All-purposeSTructuredEurocontrolsuRveillanceInformationeXchange - протокол Євроконтролю щодо обміну радіолокаційними даними |
| ATCO | AirTrafficController - диспетчер повітряного руху |
| ATFCM | AirTrafficFlowandCapacityManagement - організація потоків повітряного руху та менеджмент пропускної спроможності |
| ATIS | Automatic Terminal InformationService - автоматичне термінальне інформаційне обслуговування |
| ATM | AirTrafficManagement - організація повітряного руху |
| ATS | AirTrafficService - обслуговування повітряного руху |
| ATZ | AerodromeTrafficZone - зона аеродромного руху |
| AUP | AirspaceUsePlanmessage - план використання повітряного простору |
| A-CDM | AirportCollaborativeDecisionMaking - система спільного прийняття рішень в аеропортах |
| A-RNP | AdvancedRequiredNavigationPerformance - вдосконалені необхідні навігаційні характеристики |
| A-SMGCS | AdvancedSurfaceMovementGuidanceandControlSystem - вдосконалена система управління та контролю за наземним рухом |
| BFD | BasicFlightDatamessage - повідомлення щодо основних польотних даних |
| CCO | ContinuousClimbOperations - процедури виконання польоту щодо безперервного набирання |
| CDO | ContinuousDescendOperations - процедури виконання польоту щодо безперервного зниження |
| CFD | ChangetoFlightDatamessage - повідомлення щодо зміни польотних даних |
| COTS | CommercialOff-The-Shelf - пристрої або програмне забезпечення доступні на ринку |
| CPDLC | ControllerPilotDataLinkCommunication - дуже високочастотна лінія передачі даних для зв'язку "диспетчер - пілот" |
| CS | CentralizedServices - централізовані сервіси Євроконтролю |
| CTA | ControlArea - диспетчерський район |
| CTR | ControlZone - диспетчерська зона |
| DMAN | DepartureManager - система менеджменту вильоту |
| DLS | DataLinkService - служба передачі даних |
| DME | DistanceMeasuringEquipment - далекомірне обладнання |
| D-ATIS | DigitalAutomatic Terminal InformationService - автоматичне надання термінальної інформації за цифровими каналами передавання даних |
| D-VOLMET | DigitalRoutinevoicebroadcastsof MET informationforaircraftinflight - автоматичне надання метеорологічної інформації на маршруті за цифровими каналами передавання даних |
| EAD | European AIS Database - Загальноєвропейська база даних CAI |
| ERNIP | EuropeanRouteNetworkImprovementPlan - Європейський план вдосконалення маршрутів |
| ESSIP | EuropeanSingleSkyImPlementation - Європейський план реалізації програми Єдине небо |
| EU | EuropeanUnion - Європейський Союз |
| FL | FlightLevel - рівень польоту |
| FMP | FlowManagementPosition - орган організації потоків повітряного руху |
| FMTP | FlightMessageTransferProtocol - протокол передачі повідомлень щодо виконання польотів |
| FRA | FreeRouteAirspace - повітряний простір вільних маршрутів |
| FRAU | FreeRouteAirspaceofUkraine - повітряний простір вільних маршрутів України |
| FUA | FlexibleUseofAirspace - гнучке використання повітряного простору |
| GANP | GlobalAirNavigationPlan - глобальний аеронавігаційний план |
| GAT | GeneralAirTraffic - загальний повітряний рух |
| GML | GeographyMark-upLanguage - узагальнена мова розмітки |
| GNSS | GlobalNavigationSatelliteSystem - глобальна навігаційна супутникова система |
| GPS | GlobalPositioningSystem - система глобального позиціонування |
| ICAO | InternationalCivilAviationOrganization - Міжнародна організація цивільної авіації |
| ILS | InstrumentalLandingSystem - система інструментального заходження на посадку |
| IR | ImplementingRule - правило впровадження |
| IWXXM | ICAO MeteorologicalInformation Exchange Model - модель обміну метеорологічною інформацією ІКАО |
| LLF | LowLevelFlight - політ на малих висотах |
| LSSIP | LocalSingleSkyImplementationPlan - Національний план впровадження єдиного європейського неба |
| MET | Meteorological - метеорологічний |
| MLAT | MultiLATeration - багатопозиційна система спостереження |
| MSAW | MinimumSafeAltitudeWarning - попередження про порушення мінімальної безпечної висоти |
| MSPSR | MultiStaticPrimarySurveillanceRadars - первинна багатопозиційна система спостереження |
| MSSR (ELS) | MonopulseSecondarySurveillanceRadar (Elementary) - моноімпульсний вторинний радіолокатор (елементарного режиму S) |
| MSSR (EHS) | MonopulseSecondarySurveillanceRadar (Enhanced) - моноімпульсний вторинний радіолокатор (розширеного режиму S) |
| NDB | Non-DirectionalBeacon - ненаправлений радіомаяк |
| NM | NetworkManager - менеджер загальноєвропейської аеронавігаційної мережі |
| NOTAM | NoticeToAirMen - повідомлення для пілотів |
| NPA | Non-PrecesionApproach - неточний захід на посадку |
| OAT | OperationalAirTraffic - операційний повітряний рух |
| OLDI | On-LineDataInterchange - протокол обміну даними ОПР |
| PBN | PerformanceBasedNavigation - навігація заснована на характеристиках |
| PCP | PilotCommonProjects - загальні експериментальні проекти |
| PMP | Project ManagementPlan - план управління проектом |
| PSR | PrimarySurveillanceRadar - первинний радіолокатор |
| RCA | Remote-ControlledAerodrome - дистанційно-контрольований аеродром |
| RTC | RemoteTowerCentre - центр дистанційного аеродромного обслуговування |
| SAR | SearchandRescue - пошук та рятування |
| SARP | StandardsAndrecommendedPractices - стандарти та рекомендована практика ICAO |
| SES/SESAR | SingleEuropeanSky / SingleEuropeanSky ATM Research - Єдине Європейське Небо / Дослідницька програма організації повітряного руху в єдиному європейському повітряному просторі |
| SIGMET | SIGnifficantMETeorologicalinformation |
| SMR | SurfaceMovementRadar - радіолокатор контролю наземного руху |
| SSR Mode S | SecondarySurveillanceRadarMode S - вторинний радіолокатор режиму S |
| STAM | ShortTerm ATFCM Measures - короткострокові заходи ATFCM |
| STCA | ShortTermConflictAlert - короткострокове попередження про конфлікт |
| SWIM | SystemWideInformationManagement - загальносистемне управління інформацією |
| TMA | Terminal area - термінальний диспетчерський район |
| TWR | ToWeR - аеродромна диспетчерська вишка |
| UIR | UpperFlightInformationRegion - верхній район польотної інформації |
| UTA | UpperControlArea - верхній диспетчерський район |
| UUP | UpdateAirspaceUseplan - оновлений план використання повітряного простору |
| VCS | VoiceCommunicationSystem - система голосового зв'язку |
| VoIP | Voiceover IP - голосовий зв'язок по IP-протоколу |
| VOR/DME | VeryHighFrequencyOmnidirectionalRadioRange / DistanceMeasuringEquipment - всебічно направлене азимутально-далекомірне обладнання |
| WAM | WideAreaMultilateration - широкозонна багатопозиційна система спостереження |
| WGS | WorldGeodeticSystem - всесвітня геодезична система |
| XAP | CrossingAlternateProposalmessage - повідомлення щодо альтернативної пропозиції перетину |
| АДВ | Аеродромна Диспетчерська Вишка |
| АНО | Аеронавігаційне Обслуговування |
| АС КПР | Автоматизована Система Керування Повітряним Рухом |
| ДАДО | Дистанційне аеродромне диспетчерське обслуговування |
| ДАСУ | Державна Авіаційна Служба України |
| ЗНС | Зв'язок Навігація Спостереження |
| МДСУ | Мережа збору, обробки та розповсюдження даних спостереження (USENET) |
| МТМ | Магістральна Телекомунікаційна Мережа Украероруху |
| ОК | Об'єктивний контроль |
| ОПР | Обслуговування Повітряного Руху |
| ОППР | Організація потоків повітряного руху |
| ОПС | Обслуговування повітряних суден |
| ОрПР | Організація Повітряного Руху |
| ПП | Повітряний простір |
| ПР | Повітряний рух |
| ПС | Повітряне Судно |
| РДЦ | Районний Диспетчерський Центр |
| РПІ | Район Польотної Інформації |
| САІ  УПС | Служба Аеронавігаційної інформації  Управління повітряних судей |
| ЦПІ | Центр Польотної Інформації |

# ВСТУП

Сучасна система організація повітряного обслуговування викликає необхідність удосконалення всіх систем забезпечення роботи загалом аеропортів. В цьому контексті система дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування також потребує нових підходів та розробки інноваційних методів для покращення обслуговування. Удосконалення організації аеронавігації в цілому передбачає зменшення фінансових витрат та нераціонального підходу до працівників диспетчерського обслуговування. Такий стан речей детермінує необхідність розробки нових методів покращення служби дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування.

Проблема дистанційної аеронавігації була широко розглянута в країнах Європи та США. В той час, коли сусідні країни йдуть в ногу з часом, на території України проблема аеродромного обслуговування є актуальним.

У дипломній роботі розглянуто специфіку роботи аеропортів України.

Проаналізовано роботу кожного аеропорту в цілому, що стосується аеронавігації. Проблеми удосконалення дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування були розкриті.

Іноземна практика удосконалення роботи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування показала високі результати, що доводять проекти та дослідження європейських спілок, таких як SESAR - Єдине Європейське Небо. Доволі об’ємний обсяг наукової літератури вітчизняних авторів нажаль не містить розробок застосування цієї іноземної системи. В такому випадку вивчення цієї проблеми на сьогоднішній день є актуальним.

# РОЗДІЛ №1

# Дистанційне аеродромне диспетчерське обслуговування

## 1.1.Концепція дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування ДАДО (Remote Tower)

Дистанційна вежа дозволяє надавати послуги управління повітряним рухом в аеропорту з віддаленого місця, а не зі звичайної вежі УВС, розташованої в аеропорту Перше впровадження віддаленої вишки, що забезпечує аеродромну ОПС, було схвалено і введено в експлуатацію в Швеції в квітні 2015 року, а подальші впровадження в інших державах-членах EASA ще не завершені. (EASA 2017) Служба віддаленої вишки (RTS) - це система, яка дозволяє забезпечувати управління повітряним рухом на аеродромі (УПР) або службу польотної інформації (FIS) з іншого місця, крім аеродрому, при підтримці рівня експлуатаційної безпеки, який еквівалентний рівню, досяжному при використанні пілотованої вежі на аеродромі для спостереження за повітряними і наземними рухами [3].

Протягом багатьох років візуальне спостереження за рухом в схемі і на землі з місцевої диспетчерської вишки було єдиним засобом спостереження і поділу руху в аеропортах по всьому світу. З появою радара і нових систем спостереження для повітряних і наземних переміщень, а також з постійно зростаючою розміром аеропортів, камери і наземні системи спостереження були встановлені відповідно до DOC 4444 ІКАО. Проте, процедури ІКАО як і раніше стосуються візуального спостереження і мають метод вибору, коли це можливо.

У міру вивчення концепції Remote Tower Services стало ясно, що вона буде принципово відрізнятися від традиційних режимів роботи вишки. Камери і датчики можуть бути розміщені в будь-якому місці поля, а не тільки в одному місці, і авіадиспетчерам буде представлена віртуальна картина реальності, доповнена рядом гаджетів. У той час як деякі виробники вважають за краще досить реальне уявлення про навколишній світ, інші представляють контролерам тільки інфрачервоні зображення. Тому необхідно усвідомлювати різницю між службами ДАДО (Remote Tower), що відображають реальну картинку, яка, можливо, посилюється деякими гаджетами, і віртуальними вежами, які частково або повністю відображають штучну картинку.

Послуги надаються з використанням інноваційних технологій: камери з високою роздільною здатністю, мікрофони, датчики і локальна система обробки. Центр ДАДО (Remote Tower) оснащений екранами і апаратними засобами управління, що дозволяють диспетчеру УПС надавати ті ж послуги УПС, які знаходяться в звичайній вежі. Це дозволяє об'єднати операції кількох аеропортів в єдиний центр віддаленої вежі. Потреба в віддалених вежах зростає. Багато маленьких аеропортів більше не обслуговуються 24/7, і віддалені системи стали необхідністю. Отже, як це може бути безпечним рішенням?

Співробітника авіадиспетчерської служби (ATCO) або співробітника служби польотної інформації аеродрому (AFISO) буде переадресовано в віддалений диспетчерський пункт (RTC), звідки вони будуть надавати ОПС. Концепція RVT спрямована на забезпечення:

• Послуги вилученої вишки в аеропортах малих і середніх розмірів персоналом, розташованим у віддаленій вежі, десь ще.

• Невідкладні послуги в великих аеропортах, в разі пожежі чи інших подій, які можуть мати місце в будівлі диспетчерської вишки. Засіб на випадок непередбачених обставин має бути в безпечному, поблизу, але в іншому місці.

• Синтетичне поліпшення зору для підвищення ситуаційної поінформованості в аеропортах в умовах поганої видимості на місцевих диспетчерських пунктах аеропорту. Весь спектр обслуговування повітряного руху, визначений у Документах ІКАО 4444, 9426 і Керівництві Євроконтролю, все ще буде надаватися дистанційно УПС або АФІС. Користувачам повітряного простору слід надавати відповідний рівень обслуговування, як якщо б ОПС надавалися на місці в аеропорту[2].

У проектах спільного впровадження SESAR розглядаються концепції RVT, засновані або на одній людині, що контролює один аеропорт, або на одну людину, що контролює кілька аеропортів. Служба повітряного руху аеродрому (ATS) із віддаленого місця полегшується потокової передачею зображення в режимі реального часу зі збірки стаціонарних та рухомих цифрових відеокамер високої чіткості, розташованих на аеродромі з дистанційним управлінням. Цей зашифрований сигнал використовується для відтворення виду аеродрому і його околиць на 360-градусний ЖК-екран, який еквівалентний реальності, але, можливо, краще, ніж вид з обмеженим сектором, який існував би з кімнати візуального контролю на аеродромі. Нерухомі камери забезпечують основний дисплей і будь-які необхідні додаткові, такі як великі плани рампи, а також є одна або кілька рухомих камер, які можна направляти в міру необхідності з положення RTS, повторюючи спосіб використання бінокля в звичайній вежі. Це візуальна ситуаційна усвідомленість. Для диспетчера або оператора служби польотної інформації доповнюється набір датчиків навколишнього середовища і мікрофонів, які фіксують звукові та метеорологічні або інші експлуатаційні дані. Система також легко можете переключатися з одного в ОПС між УПС і FIS, якщо це необхідно. У той час як первинний акцент був зроблений на денні операції VMC, операції в нічний час і в умовах поганої видимості також можуть підтримуватися за допомогою установки додаткового вимірювального обладнання та використання інфрачервоних лінз [7] або лінз нічного бачення і трьох накладень реальності з розширеними розмірами. Якщо обставини виправдовують це, можна встановити A-SMGCS для доповнення візуального дисплея RTS, доступного в місці розташування RTS.3 липня 2015 року EASA випустило інструктивний матеріало-впровадження ОПС з використанням RTS тільки в разі одного аеропорту. Це наголошує на важливості для RTS засобів зв'язку між місцем, де надається ATS, і місцем, звідки воно надається. Підкреслюється важливість забезпечення потреб в резервуванні, особливо якщо ці комунікації залежать від стороннього постачальника. AMC включає в себе окремі списки «експлуатаційних небезпек» для забезпечення RTS аеродрому УПС і FIS і їх експлуатаційних впливів, а також контрольний список для затвердження впровадження RTS [27]. Поточна робота EUROCAE WG-100 по розробці специфікації мінімальної ефективності авіаційної системи (MASPS) для візуального представлення, яка потрібна RTS, відзначена, і відповідний інструктивний матеріал був виданий EASA в рамках Частини ATCO щодо навчання іліцензіювання контролерів для роботи на посадах в RTS.

Незважаючи на обмежену в даний час область застосування AMC EASA, широко передбачається, що деякі з переваг RTS можуть бути отримані від її надання на більш ніж одному аеродромі з одного віддаленого місця розташування, і в цьому випадку це місце розташування описується як Центр віддаленої вежі (RTS). Така домовленість забезпечує значну гнучкість, як заздалегідь сплановану, так і спеціальну, при наданні обслуговування повітряного руху в районах з рядом аеродромів з відносно низьким рівнем трафіку або там, де вимога для надання ОПС може бути непередбачуваним відхиленням наприклад.

За кілька років технологія віддалених веж переписала звід правил управління повітряним рухом. Спочатку задумана як інтелектуальне, безпечне і стійке рішення для аеропортів з дуже низькою щільністю руху, віддалені вишки стають реальністю в аеропортах зі значно більш інтенсивним рухом, каже Флоріан Гіллермет, виконавчий директор SESAR JointUndertaking. У цій статті він нагадує про деякі ключові події в SESAR, які стимулювали цю нову еру в управлінні повітряним рухом, і докладно описує, як ця революційна технологія досліджується для впровадження в інших середовищах аеропортів [30].

Малі та регіональні аеропорти стикаються з необхідністю узгодити високу вартість експлуатації повнофункціональної диспетчерської вишки з низькими доходами від посадок і інших зборів, пов'язаних з польотом, коли пропускна здатність обмежена і переривчаста. У Європі однією з довгострокових соціальних амбіцій FlightPath 2050 (бачення ЄС майбутньої авіаційної мережі авіації) є надання громадянам можливості подорожувати між будь-якими двома пунктами в ЄС протягом чотирьох годин. Таким чином, життєздатність невеликих аеропортів є невід'ємною частиною реалізації цього бачення [4]. Однак сувора реальність, з якою стикаються невеликі регіональні спільноти, які залежать від авіаперевезень для мобільності людей, товарів і послуг, полягає в тому, що для процвітання їх економіки необхідно. Саме тут вступають в дію віддалені вишки.

## 1.2. Аналіз існуючих систем дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower)

На даний момент систему віддаленої вишки ДАДО (Remote Tower) використовують такі країни, як Швеція (Örnsköldsvik), США, Іспанія, а також аеропорти Брюсселю, Лондону та Будапешту.

Учасники та партнери продемонстрували можливість фізичного поділу диспетчерської вишки і диспетчерів, в той же час забезпечуючи безпечне надання послуг управління повітряним рухом (УПС) в аеропорту [19]. Ці дослідження і розробки привели до першого розгортання однієї віддаленої вежі - яка у багатьох відношеннях стала шаблоном для подальших розгортання - в шведському аеропорту Örnsköldsvik. За пропускної спроможності всього 80 000 пасажирів на рік щільність руху була достатньою, щоб виправдати витрати штатних співробітників контролю. Замість цього, аеропорт тепер контролюється на відстані більше 150 км від об'єктів УПС в Сундсваллі. Розгортання Örnsköldsvik / Sundsvall було схвалено Шведським авіаційним управлінням в 2014 році. Наступним логічним кроком було з'ясувати, чи можна використовувати єдину дистанційну вишку для регіональних аеропортів з невеликими обсягами трафіку. Ця категорія аеропортів стикається з тими ж проблемами, що і їх менші колеги в забезпеченні безперервності обслуговування або навіть розширення, оскільки звичайні вишки [28] можуть стати занадто дорогими, щоб працювати з часом, або якщо кількість польотів стає недостатнім. Це друге рішення SESAR було випробувано на установці в аеропорту Саарбрюккена на південному заході Німеччини недалеко від кордону з Францією. Валідаційна робота була доповнена великомасштабними демонстраціями в Німеччині, Італії і Ірландії. Ця науково-дослідна робота і перше розгортання сприяли реалізації аналогічних планів, і не тільки в інших невеликих аеропортах. Наприклад, менша фізична площа віддалених вишок спонукала проектувальників і архітекторів аеропортів переосмислити, як можна використовувати цінне звільнений простір для інших оперативних і ділових цілей. Це мало місце в аеропорту Лондон-Сіті (LCY), який зазнає суттєвої реконструкції 350 млн. Фунтів стерлінгів (400 млн. Євро). При віддаленій установці вежі, яка потребує коштів, необхідних людям - таких як ліфти, зони відпочинку і місця для контролерів і консолей - архітектор LCY, Pascall + Watson, обмежений міським розташуванням, використовував простір, не займається вежею, щоб допомогти збільшити пропускну спроможність терміналу.

Члени SESAR також розглянули питання про те, як віддалені вишки можуть служити більшим аеропортам як непередбачених обставин при збоях в роботі; забезпечення стійкості і безпеки. Потреба в баштах на випадок непередбачених обставин, як така, не нова, і об'єкти вже працюють у багатьох місцях, таких як Лондон, Брюссель, і та, яка майже готова в Будапешті. Рішення SESAR вводить в дію додаткові технології і вирішує такі проблеми, як доступність, навчання і безпеку для забезпечення більшої стійкості і більш високу ефективність в погіршених ситуаціях. У серії випробувань в Гетеборзі в Швеції і Жироні в Іспанії учасники перевірили час перемикання з основного на аварійну вежу; рівень обслуговування, досяжний, коли «з вікна» недоступно; і обсяг інформації, доступної для контролерів.

Дистанційне керування повітряним рухом засновано на декількох інтегрованих і взаємодіючих підсистемах. Зображення з високою роздільною здатністю і інша інформація відправляються з камери в аеропорту на робочу станцію в башті дистанційного керування [17]. Це може містити кілька робочих станцій, де авіадиспетчер може контролювати два або три аеропорти паралельно.

Авіадиспетчер може контролювати повітряний рух через екрани, які забезпечують зображення, відповідне виду через вікно в традиційній диспетчерській вежі. Вежа дистанційного керування також підключена до всіх локальних систем, які необхідні для аеронавігаційних служб, таких як управління вогнями на злітно-посадковій смузі (ЗПС), збір місцевих метеоданих, управління аварійними сигналами тривоги і підтримка навігації. Вежа камери також містить сигнальну лампу, яка може використовуватися в якості резервного в разі збою радіозв'язку між авіадиспетчером і пілотом. Система також може використовуватися в якості запасної контрольної вежі для великих аеропортів [12]. Системи віддаленої і цифровиї вишки KONGSBERG забезпечують підвищену інформованість авіадиспетчерів з безпеки і ситуаційної обстановці в порівнянні з існуючими системами і видимістю з вікна завдяки високоякісним даними, перевіреними технологіями і знання предметної області. Система має низькі вимоги до пропускної здатності, забезпечуючи панорамні зображення з високою роздільною здатністю при дуже низьких витратах. Надійна і передова технологія електронно-оптичних датчиків є частиною системи - прямий наслідок самої передової технології військових датчиків в світі. Electro-OpticalSensorSuite (EOSS) складається з платформи, що обертається, в якій розміщується візуальна і інфрачервона 360-градусна камера, і платформи з похилим нахилом, в якій розміщується камера з візуальним зумом, ІК-камера з фіксованим об'єктивом, лазерний далекомір і сигнальна лампа .

Історія віддалених веж на цьому не закінчується. З запуском SESAR 2020 (2016-2020) - наступної хвилі науково-дослідницьких робіт - план полягає в тому, щоб просунути технологію ще далі, щоб відповідати потребам експлуатаційних характеристик, сформульованим зацікавленими сторонами. В даний час інтенсивно аналізується ідея «віддаленого баштового центру», де може бути розгорнуто кілька модулів, які можуть охоплювати кілька аеропортів на основі «один модуль в один аеропорт». Такий центр створюється в шведському аеропорту Арланда для забезпечення віддаленого УПС в аеропортах Мальме, Естерсунда, Умео і Кіруни. Він буде введений в експлуатацію до кінця 2020 року з можливістю віддаленого управління понад 20 аеропортами з цифровим підключенням. Аналогічна установка запланована в Норвегії, де 15 аеропортів будуть експлуатуватися баштовим центром в Буді до кінця 2020 року. Інша можлива еволюція концепції - множинні послуги віддаленої вишки. Це відноситься до надання послуг вежі УПС більш ніж одному аеропорту одночасно з одного «модуля», який може перемикатися між входить віддаленої камерою вежі і каналами зв'язку з різних аеропортів. Дослідження засноване на випробуваннях в Буді, де диспетчери одночасно надавали авіаційні інформаційні послуги обом пунктам Зростання і Верей (технічно вертолітний майданчик). Масштабні демонстрації в Ірландії і Нідерландах також надав додатковий внесок щодо здійсненності концепції з одночасним керуванням в умовах низької інтенсивності руху в двох аеропортах. Ця концепція піддається подальшим ретельним дослідженням і розробкам в Німеччині, Угорщині, Італії, Литві, Норвегії і Швеції з метою виявлення всіх потенційних проблем і забезпечення її відповідності найсуворішим вимогам безпеки. Це пов'язано з дослідженнями передових автоматизованих метеорологічних систем для аеропортів з дистанційним управлінням. Очікується, що після перевірки концепція і пов'язані з нею системи принесуть значні експлуатаційні та економічно ефективні переваги.

Несподіваним побічним продуктом програми віддаленої вежі SESAR є проект, в якому оцінюється використання доповненої реальності в звичайній вежі. Resilient Synthetic Vision для забезпечення розширеного аеродромного обслуговування диспетчерської вишки продемонстрував, що завдяки наданню диспетчеру (оснащеному захисними окулярами Holo Lens) додаткової інформації (такий як мітки літаків і контури наземних об'єктів) поінформованість про ситуацію і час випередження були помітно покращені [8]. В умовах поганої видимості дані, що накладаються на окуляри контролера, покращували ситуаційну обізнаність «з вікна», підвищуючи безпеку і потенційно дозволяючи контролеру долати обмеження пропускної спроможності аеропорту, що накладаються поганими погодними умовами. Потенціал є значним, оскільки, якщо така розширена інформація дозволяє проводити звичайні операції в погодних умовах, які в даний час вимагають процедур поганої видимості, стійкість аеропорту і пропускна здатність можуть бути значно підвищені, це був великий успіх, завдяки якому проект отримав премію Джейн за «передові технології» на Всесвітньому конгресі банкоматів в Мадриді в 2018 році. Те, що починалося як концепція підвищення життєздатності невеликих і регіональних аеропортів, поширилося на нові, а іноді й несподівані напрямки, переходячи в сімейство рішень. Розгортання рішень для віддалених веж планується в ширшому масштабі в регіонах, особливо в Північній Європі. Їх менша площа корисна для проектувальників нових аеропортів і забезпечує безпеку на випадок непередбачених обставин. Дистанційні баштові центри приносять операційну ефективність, стійкість і економічну ефективність. І нові дослідницькі проекти SESAR, такі як RETINA, використовують ці розробки, розширюючи можливості диспетчерів для більш ефективної та гнучкої роботи і дозволяючи їм забезпечувати безпечне і економічне керування повітряним рухом - незалежно від погоди. SESAR (Single European Sky ATM Research Programme) - це науково-дослідницька програма, ініційована Єврокомісією в 2005 р. Дана програма покликана об'єднати технологічні, економічні та законодавчі аспекти модернізації системи організації повітряного руху (ОПР) і, використовуючи правову базу SES (Single European Sky), забезпечити узгодження планів і ресурсів різних учасників програми з метою успішного розвитку і впровадження необхідних технологій [50].

Програма SESAR складається з трьох етапів:

У квітні 2004 року Єврокомісією було прийнято низку законодавчих актів, які сформували правової базис програми модернізації Європейської системи ОПР, яка отримала назву «Єдине європейське небо» (Single European Sky - SES): З метою подальшого розвитку правової бази SES Євроконтролем в 2005 р було розпочато більш детальна розробка документів. Однак формування нової правової бази є необхідною, але недостатньою умовою для успішного реформування системи ОПР, оскільки для комплексної реалізації програми SES необхідний розвиток нових технологій [43], зміна принципів роботи національних провайдерів навігаційних послуг і процедур ОПР. Згідно з прогнозами провідних авіаперевізників, до 2025 року в світовому масштабі очікується збільшення інтенсивності повітряного руху приблизно в 2-3 рази (див. рис.1.1.).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 1.1. Приклад збільшення інтенсивності повітряного руху у світі до 2025 року |

Прогнозоване зростання інтенсивності повітряного руху з огляду на важливість повітряного транспорту і його істотний вплив на розвиток Євросоюзу, завдання модернізації Європейської системи організації повітряного руху (ОПР) була позначена Єврокомісією в якості однієї з пріоритетних.

Передбачається, що реалізація програми SESAR 2025 р дозволить:

• утричі збільшити пропускну здатність повітряного простору;

• дворазово знизити вартість аеродромного обслуговування;

• в десять разів підвищити безпеку польотів;

• зменшити вплив на навколишнє середовище (шуми, емісія);

• забезпечити ефективність польотів від перону до перону;

• створити робочі місця для 200 тис. висококваліфікованих фахівців.

• Нові технології відкривають нові можливості. Завдяки повністю цифровому панорамному огляду відкривається новий світ управління аеродромом [33]. Saab і шведський постачальник аеродромного обслуговування, LFV, успішно співпрацюють, щоб запустити в експлуатацію першу в світі віддалену вежу.

• У 2016 році було створено спільне підприємство між Saab і LFV. Рішення Saab Digital Air Traffic.

• Saab Digital Air Traffic Solutions використовує інноваційне та технологічне лідерство Saab в поєднанні з експлуатаційним досвідом LFV. Рішення Thales Remote Tower, побудоване на основі провідної на ринку системи Top Sky, забезпечує гнучке і масштабується, для надання більш дешевих послуг [39] ATC Tower.

• Конфігурується від маленького вертолітного майданчика до великого аеропорту з функціональністю, що підходить для кожного середовища

• Використовуючи знання Фалеса, який освоює повний набір функцій УВС і Вежі.

• Забезпечує високий рівень інтеграції (наприклад, проста координація, єдиний FDP, загальні дані, інтегрована візуалізація).

Модернізація системи управління повітряним рухом є одним з основних завдань сучасних досліджень в області аеронавтики. Проект «Дослідження єдиного європейського неба для ОПР (SESAR)» визначає, розробляє і впроваджує те, що необхідно для підвищення ефективності ОрПР і створення інтелектуальної системи повітряного транспорту Європи. Поточна програма SESAR 2020 року, розрахована на період з 2016 по 2024 рік з бюджетом в 1,6 млрд. євро підтримує проекти з надання рішень в чотирьох ключових областях, а саме: аеропортові операції, мережеві операції, обслуговування повітряного руху та технологічні інструменти. Частиною SESAR 2020 є проект PJ05 «Дистанційна вежа для кількох аеропортів» з акцентом на безпечний і ефективний аеропорт майбутнього. Підводячи концепцію віддаленого управління декількома аеропортами до більш високого рівня зрілості, проект SESAR спрямований на забезпечення малих і середніх аеропортів більш економічним і обслуговуються з урахуванням вимог обслуговування повітряного руху [37]. Проект був запущений в листопаді 2016 року і проходить першу хвилю за 37 місяців за підтримки 37 міжнародних партнерів з промисловості, постачальників аеродромного обслуговування та дослідницьких організацій.

«Поодинокі» тести віддаленої вишки були розгорнуті в попередніх проектах, в тому числі в Вірджинії; проте компанія зрозуміла, що найбільша економія може бути досягнута, коли один диспетчер працює з декількома вежами аеропорту з одного центру [44]. Проект SESAR 2020 PJ05 поступово доводить, що віддалене управління декількома аеропортами є здійсненним завданням для одного контролера при розумному обсязі трафіку.

У листопаді 2017 року Frequentis, Hungaro Control, DLR і Selex ES (Leonardo LTP) провели успішну валідаційну кампанію «Дистанційна вежа для кількох аеропортів» в Брауншвейгу, Німеччина.

Угорський контролер Габор Драшітц взяв участь в цьому заході, відзначивши згодом: «Зрозуміло, що потрібно інтенсивний технічний розвиток, і багато зусиль чекає тих, хто працює над процедурами і правовим середовищем».

Його колега Emese Kisfaludy сказав: «Було дуже складно випробувати наш розум і навички в якості диспетчерів вишок. Розроблена технологія була корисною і футуристичною одночасно. В найближчому майбутньому належить ще багато досліджень, щоб відповісти на питання і зробити концепцію мульти-віддаленого доступу дійсно безпечною, корисною і ефективною ».

Зовсім недавно один диспетчер одночасно обслуговував повітряний рух в трьох аеропортах Литви. Крім того, при моделюванні в реальному часі в Центрі перевірки повітряного руху DLR шість литовських диспетчерів керували інтенсивним трафіком в змішаному середовищі VFR / IFR. Експерти з людського фактору і моделювання з Інституту управління польотами [12] DLR провели перевірку, в ході якої диспетчери виконали чотири різні сценарії, кожен тривалістю 50 хвилин.

Контролери використовували систему планування польотної смуги від Frequentis, трьохекранний радіолокаційний дисплей і трьохекранний зовнішній вигляд в реальному часі, який включав можливість панорамування-нахилу-масштабування. На аудіо стороні контролери використовували інтегровану систему голосового зв'язку. Диспетчери обробляли як повітряний рух, так і наземні руху. Вправи виконувалися з парами контролерів, налаштованих таким чином, щоб диспетчер-спостерігач міг постійно аналізувати рівні безпеки, навантаження і навантаження на працюючому контролеру [51].

Базова концепція, раніше відома як віртуальні вишки, було представлено Deutsches Zentrumfür Luft- und RaumfahrteV (DLR) в 2002 році і описує віддалене диспетчерське обслуговування з системою відеоспостереження замість спостереження «з вікна». вид зі справжньою вежі. Початкові випробування віддаленої ОПС для аеропортів низької та середньої щільності були засновані на оптичних датчиках (камерах), які забезпечують УПС на ДАДО (Remote Tower) високоякісним зображенням злітно-посадкової смуги в реальному часі, рампи аеропорту (APRON) і дуже близьке повітряний простір [20]. Ці зображення в реальному часі відображаються на великих моніторах, забезпечуючи огляд до 360 градусів. Крім відеопотоку в реальному часі з аеропорту, диспетчери УПС у своєму розпорядженні тими ж комп'ютерними системами управління повітряним рухом, що і в місцевому диспетчерському пункті, і являють собою системи голосового зв'язку, метеорологічні системи, системи планів польоту і системи відображення даних спостереження. Рівень оснащення може залежати від того, чи є це контрольованої службою ДАДО (Remote Tower) або службою польотної інформації, що надається в конкретному аеропорту. Залежно від складності аеропорту, щільності руху і погодних умов, може бути краще доповнити оптичні зображення удосконаленою системою управління і контролю наземного руху. (A-SMGCS) з вхідними сигналами від радіолокатора наземного руху (SMR) і / або локальної мультілатераціі (LAM). Концепція RVT знаходиться в стадії розробки, крім інших колишніх ініціатив в галузі досліджень і розробок (наприклад, DLR, DFS, LFV, Searidge Technologies, SAAB, FREQUENTIS, Indra Sistemas або проекту FP6 EU ART і т. Д.), як частина Спільного проекту SESAR підприємство (SJU), де робочий пакет 6 розробляє операційні концепції, а робочий пакет 12 розробляє відповідну технологію для забезпечення функціональності ДАДО (Remote Tower).

Вежа дистанційного керування повітряним рухом досягає нових висот в Колорадо Завдяки поєднанню супутникових технологій. На основі відео технологій, авіадиспетчери отримають всебічне уявлення про повітряний рух.

Оскільки нинішні положення ІКАО щодо ДАДО (Remote Tower) явно застаріли, існує нагальна необхідність у глобально прийнятих SARPS, загальних визначеннях і процедурах. Повинні бути розроблені загальні стандарти і передовий досвід щодо визначення та процедури, включаючи, зокрема, процедури польоту, стандарти ешелонування і мінімальні вимоги до систем і датчикам [40].

• Одиночна дистанційна вежа

Один авіадиспетчер відповідає за роботу в одному аеропорту одночасно. Проте, він / вона може мати кілька рейтингів, щоб контролювати різні аеропорти, один за іншим.

• Багаторазова Дистанційна Вежа

Один авіадиспетчер відповідає за роботу в кількох аеропортах одночасно. Це вимагає декількох оцінок для кожного контролера і ретельного розкладу персоналу. Ця концепція є абсолютно новою в порівнянні з поточними операціями.

• Вежа на випадок непередбачених обставин

 Засіб на випадок непередбачених обставин, яке слід використовувати, коли вежа аеропорту не працює протягом короткого періоду часу (наприклад, пожежа, технічний збій) [22]. Дистанційна експлуатація вежі забезпечить як мінімум базовий рівень обслуговування.

Віддаленими вишками можна управляти з Центру ДАДО (Remote Tower), який може бути розташований де завгодно, але зазвичай планується розташовувати на розумній відстані від усіх контрольованих аеропортів, щоб зменшити затримку сигналів і підвищити технічну надійність.

## 1.3. Стан розвитку дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) в Україні.

Украерорух почав експлуатацію в усіх регіональних структурних підрозділах дев'яти сучасних тренажерів аеродромної диспетчерської вишки 3D-Tower з відображенням аеродромного руху. Отже, авіадиспетчери аеродромних диспетчерських вишок в процесі професійної підготовки та підвищення кваліфікації можуть відпрацьовувати різні робочі ситуації в умовах, максимально наближених до дійсності. Це дозволить підвищувати професійний рівень авіадиспетчерів і, відповідно, якість обслуговування повітряного руху та безпеки польотів в зоні відповідальності України. Це результат масштабного проекту з постачання, встановлення обладнання та програмного забезпечення, тестування системи, розробці комплексу вправ для тренування і підготовки диспетчерів-інструкторів, що тривав близько року. Договір про закупівлю цих тренажерів з переможцем тендеру - канадською компанією "Adacel" - Украерорух уклав навесні минулого року. Вартість проекту - 3,5 млн. Грн. (Власні кошти Украероруху). Найбільш унікальним є тренажер 3D-Tower з високим ступенем візуалізації - з оглядом на 3600 встановлений в Навчально-сертифікаційному центрі Украероруху [1]. З його допомогою візуально моделюється зображення, авіадиспетчери бачать з робочого місця аеродромної диспетчерської вишки - видиме з вікон повітряний простір, реальний ландшафт, будівлі і транспортні засоби на аеродромі т.д. При цьому моделюється рухома картинка, де враховані справжні розміри всіх об'єктів, їх зовнішній вигляд, швидкість руху літаків в повітрі, на злітно-посадковій смузі і на пероні. Подібні тренажери 3D-Tower використовуються в багатьох країнах світу, проте лише в Україні встановлений комплекс сучасного, третього покоління, тоді як його попередники значно поступаються за якістю відображення і деякими спеціальними можливостями системи. Цей тренажер дозволяє використовувати дев'ять баз даних, спеціально розроблених для візуалізації конкретних аеродромів України - Борисполя, Львова, Одеси, Харкова, Сімферополя, Дніпра, Донецька та ще двох типових за структурою льотного поля аеродромів з меншою інтенсивністю польотів - Кривого Рогу та Івано-Франківська. Тренажер складається з розташованих по колу екранів висотою 2,5 м кожен, на які проектується зображення. Усередині розміщені шість робочих місць фахівців управління повітряним рухом аеродромної диспетчерської вишки і панелі управління чотирма каналами зв'язку. На монітори виводиться радіолокаційна інформація з автоматизованої системи управління повітряним рухом і метеоінформація. Також встановлено додаткові екрани для відео з камер спостереження, як це передбачено на аеродромі в Борисполі. Тренажер має імітацію функції "бінокль" для деталізації візуального контролю повітряних суден на льотному полі і в повітрі при підльоті до аеродрому на відстані 10-15 км [2].

Система, з якої складається тренажер, може моделювати 999 комбінацій метеорологічних явищ згідно будь-якого часу року і часу доби. У заданих інструктором інтенсивністю повітряного руху і погодних умовах моделюються різні ситуації, які можуть виникати в роботі - несправність техніки, помилка фахівців будь-яких служб, пожежа на борту або викочування літака за межі злітної смуги, коли диспетчер повинен викликати необхідні аварійні служби і працювати з урахуванням форс мажор в режимі реального часу [4]. Система має генератор і розпізнавач голосу, тому в штатному режимі в умовах правильних команд диспетчера на чіткому англійською мовою система сама сприймає інформацію, відповідає на команди і виконує їх. При необхідності в процес виконання вправ втручається інструктор і працює від імені уявного пілота або змінює завдання в активному режимі. Раніше авіадиспетчери аеродромних диспетчерських вишок відпрацьовували вправи з імітацією 2D-простору за допомогою зображень на екрані радіолокатора. Крім тренажера 3D-Tower з оглядом на 3600 в Навчально-сертифікаційному центрі Украероруху встановлено два тренажери з оглядом на 1800. Аналогічні тренажери встановлені в регіональних структурних підрозділах підприємства в Борисполі, Львові, Харкові, Одесі, Сімферополі, Дніпрі та Донецьку. Використання сучасних тренажерів в процесі професійної підготовки авіадиспетчерів - це одна з рекомендацій Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), членом якої є Україна. Усвідомлюючи важливість взятих зобов'язань, Украерорух не припиняє комплексну технічну модернізацію аеронавігаційної системи України, що дозволяє відповідати найсучаснішим світовим вимогам до провайдерів аеронавігаційних послуг.

Державне підприємство обслуговування повітряного руху України (Украерорух) у взаємодії з компанією SAAB вивчає доцільність упровадження в Україні нового на авіаційному ринку технічного рішення щодо віддалених робочих місць диспетчерів управління повітряним рухом – ДАДО (Remote Tower) – для аеродромів із малою інтенсивністю польотів [5]. У ході зустрічі 11 вересня 2012 року в Украерорусі фахівці з обслуговування повітряного руху та представники компанії SAAB обговорили технічні аспекти впровадження ДАДО (Remote Tower), зокрема дослідження особливостей різних аеродромних зон, та можливості застосування такого рішення в Україні.

За прогнозами експертів, використання віддалених робочих місць аеродромних диспетчерських вишок на аеродромах з низькою інтенсивністю польотів дозволить оптимізувати витрати провайдера аеродромного обслуговування Украероруху та забезпечити належний рівень безпеки польотів [5].

Все українське небо ділиться на райони польотної інформації. Повітряний рух в них забезпечують чотири диспетчерські центри Украероруху. Насправді таких районів п'ять: Львівський, Київський, Одеський, Дніпровський і Сімферопольський. Через тимчасової окупації Криму площа Сімферопольського району розділена на дві частини, одна з яких доповнила зону обслуговування Одеси, друга – Дніпра (див. рис.1.2).

Обслуговування польотів в більшості українських аеропортів виконують авіадиспетчери, які працюють на знайомих багатьом авіапасажирам об'єктах - аеродромних диспетчерських вишках «Украероруху». У фокусі уваги цих фахівців знаходяться злети і посадки, а також польоти в районі аеродрому та на підході до нього, в радіусі близько двадцяти кілометрів.

На кожному робочому місці вирішуються чітко визначені завдання. Один авіадиспетчер займається злетами, інший - посадками і стежить за своєчасним звільненням злітно-посадкової смуги, третій контролює рух повітряних суден по аеродрому.

Важливо розуміти розмежування відповідальності в обслуговуванні авіакомпаній. Обслуговуванням повітряного руху займаються авіадиспетчери, це сфера діяльності Украероруху [7]. Навіть для запуску двигунів перед зльотом екіпажу літака потрібен дозвіл авіадиспетчера. Авіадиспетчер повідомляє екіпаж про метеоумови, стан злітно-посадкової смуги, регулює рух повітряних суден по аеродрому, дає команду на зліт, встановлює черговість заходу і дає дозвіл на посадку, визначає маршрут зарулювання на стоянку.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 1.2. Райони польотної інформації України |

Сучасні технічні рішення, як наприклад ДАДО (Remote Tower), дозволяють за допомогою високоточних керованих відеокамер та мережі передачі даних транслювати зображення з аеродрому на будь-яку відстань. До того ж така система матиме подвійне резервування та забезпечуватиме точність отриманої інформації в будь-який час доби й у складних метеорологічних умовах.

За результатами зустрічі учасники домовились, що фахівці компанії SAAB розроблять для України найоптимальніше рішення у використанні віддалених робочих місць з економічної та технічної точок зору. Таким чином, протягом 2012 – 2013 років буде визначено доцільність застосування в Україні технічного рішення ДАДО (Remote Tower).

Для забезпечення аеродромного обслуговування на підході в Украерорусі організовано чотири диспетчерські органи підходу, які географічно розташовані на аеродромах Харків, Івано-Франківськ, Запоріжжя та Ужгород. Для забезпечення аеродромного обслуговування в районі аеродрому в Украерорусі організована робота 17 аеродромних диспетчерських вишок (АДВ), які географічно розташовані на аеродромах: Вінниця, Дніпро, Запоріжжя, Івано-Франківськ, Київ/Бориспіль, Київ/Жуляни, Кіровоград, Кривий Ріг, Львів, Одеса, Полтава, Рівне, Суми, Ужгород, Харків, Херсон та Чернівці [16].

Орган організації потоків повітряного руху (ОпПР) (Flow Management Position (FMP)) проводить моніторинг потоків повітряного руху та здійснює аналіз завантаженості секторів ОПР та аеродромів по відношенню до відповідної пропускної спроможності з метою визначення необхідності застосування тих чи інших заходів ATFM.

Військовослужбовні групи управління використанням повітряного простору забезпечують виконання правил та процедур гнучкого використання повітряного простору. Також вони виконують планування та координацію, розробку та встановлення обмежень використання повітряного простору; організують та здійснюють взаємодію з суміжними органами ОПР, Украероцентром, відповідними органами управління Повітряних Сил Збройних Сил України, відомчими органами УПР. Завдання, покладені на військовослужбовців, виконуються за допомогою Автоматизованої системи планування повітряного руху та диспетчерського контролю [25] (АС МПП «Центр»), розробленої провідними спеціалістами Украероцентру.

## 1.4. Постановка задач дипломної роботи

Реальні витрати на авіаперевезення та повітряні перевезення протягом останніх років зменшуються, роблячи повітряні перевезення більш доступними, і таким чином призводять до збільшення попиту на нього. Це дозволило розширити мережу повітряного сполучення та забезпечити більше напрямків для авіаперельотів, включаючи менші регіональні аеропорти. Однією із складових вартості авіаперевезень є витрати на аеронавігаційне обслуговування послуг, наданих постачальниками аеронавігаційних послуг, і ці витрати є фіксованими витратами. Для малих регіональних аеропортів з низьким або нерегулярним перевезенням ці витрати можуть бути тягарем, що обмежує їх розвиток [36].

Концепція віддаленої башти ДАДО (Remote Tower), розроблена в рамках програми Єдиного дослідження Європейської Небесної Банкоматики, спрямована на оптимізацію та зменшення витрат на надання аеронавігаційних послуг у невеликих аеропортах, що дозволяє їм краще використовувати ресурси та підвищувати їх прибутковість. Більшу частину повітряного руху в Україні здійснюють декілька стратегічних аеропортів, тоді як невеликі регіональні аеропорти здійснюють лише кілька рейсів на день, а для надання послуг з повітряного руху для цих рейсів обласні аеропорти обладнані місцевими службами управління аеродромом.

Через низький трафік в регіональних аеропортах ресурси та засоби використовуються не найбільш ефективно. Мета даної роботи - дослідити доцільність реалізації концепції віддаленої вежі в аеропортах України для підвищення економічної ефективності надання послуг повітряного руху в аеропортах і відповідно зниження вартості авіаперельоту до регіональних аеропортів України .

Дистанційне аеродромне диспетчерське обслуговування є дуже важливим у обслуговуванні повітряного простору в Україні.

Для підтримки розвитку регіональних аеродромів та збільшення трафіку до них необхідно знайти рішення щодо зниження витрат на обслуговування аеропортів для користувачів повітряного простору. Один із способів зменшити ці витрати - зменшити витрати на забезпечення ОПР в аеропортах [38].

Впровадження концепцій віддаленої вежі дозволяє зменшити витрати на АНС за рахунок оптимізації ресурсів та підвищення економічної ефективності забезпечення ОПР на аеродромі. Групування декількох віддалених веж у Віддалений центр вежі може призвести до кращого використання ресурсів за рахунок спільного комплексу засобів та ресурсів.

Більша частина трафіку, що прибуває або відправляється в Україну, зосереджена на стратегічних аеродромах (Київ Бориспіль, Київ Жуляни, Львів, Одеса, Харків та Дніпро), залишаючи невелику частину рейсів до регіональних аеропортів. Щоб збільшити приплив повітряних перевезень до регіональних аеропортів в Україні, необхідно зробити їх більш привабливими та доступними для користувачів повітряного простору [41], таких як авіакомпанії (традиційні та низькі ціни), вантажні перевезення тощо.

Д-р Стівен Д. Ван Бік, відомий експерт з авіаційної політики, написав у 2017 році «Дистанційні вежі: краще майбутнє для невеликих аеропортів Америки», політика Reason Foundation. Це 30-сторінковий аналіз дилеми, що стоїть перед дрібнішими аеропортами, технічного розвитку цих віртуальних коштів і їх продемонстрованої здатності надавати послуги УПС на еквівалентному рівні безпеки, а також витрат / вигод від використання віддалених вишок в невеликих аеропортах. , він прийшов до висновку: дистанційні вишки пропонують перевірену альтернативу для надання послуг повітряного руху в аеропортах з низькою активністю. Важливо відзначити, що прихильники віддалених вишок не мають наміру замінювати укомплектовані вишки, а скоріше розширювати географічний обхват і охоплення часу доби, коли управління повітряним рухом в даний час не забезпечується. Дистанційні вишки також пропонують постачальникам FAA або ATC можливість наймати диспетчерів для більш привабливих призначень. Пілотні проекти в Лісбурзі і Лавленді [52], здійснювані в даний час, є необхідними першими кроками в реалізації цього варіанту в аеропортах США. Потенційні переваги віддалених вишок і економічне обґрунтування для розширеної програми контрактних вишок значні - будь то безпека, економічна ефективність, продуктивність диспетчерів або вигоди для аеропортів і спільнот. Таке повідомлення в Вашингтоні, як правило, створює масову новинну бурю. Вищезазначена стаття, знайдена в Міжнародних новинах аеропорту, надає більш вагомі докази тези Ван Бека.

Одним із шляхів досягнення цього є впровадження Віддалені баштові центри для надання ОПС до цих аеродромів із віддалених місць. Це дозволить краще використовувати наявні ресурси та засоби та знизити витрати на послуги аеропорту для користувачів повітряного простору.

Це актуальна задача, що підтверджується аеронавігаційними службами інших країн і реалізація даних проектів, це є один з пріоритетів що треба робити в найближчі 10 років.

Актуальність теми дипломної робити підтверджується публікаціями в цьому напрямку. У зв’язку з цим сформульовано наступні задачі дипломного проектування :

**Задача №1:** Провести аналіз існуючих систем ДАДО (Remote Tower) і сформулювати перспективність використання даної системи для ОПР України.

**Задача №2:** Розробити структуру системи ДАДО (Remote Tower) в Україні.

**Задача №3:** Виконати підрахунок кількості точок положення ДАДО (Remote Tower) на території України і виконати оптимізацію розміщення цих точок ( критерій оптимальності - мінімальна відстань від аеропорту до точки Remote Tower).

# Висновки до РОЗДІЛУ №1

У даному розділі було розглянуто концепцію дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування ДАДО (Remote Tower), його переваги та інноваційні складові системи роботи ДАДО (Remote Tower).

Проаналізовано сучасні існуючі системи ДАДО (Remote Tower) у країнах та містах Європи та США, а точніше у Швеції (Örnsköldsvik), аеропорт Саарбрюккена на південному заході Німеччини недалеко від кордону з Францією, а також шведському аеропорті Арланда.

Здійснено аналіз структури системи повітряного руху України, що найбільша кількість рейсів здійснюється в аеропортах Бориспіль, Київ Жуляни, Харків, Львів та Одеса. З’ясовано, що деякі з аеропортів України, зокрема такі як Запоріжжя, Дніпро, Івано-Франківськ, Кіровоград та інші, мають неповне навантаження, проте витрати на аеродромне диспетчерське обслуговування надто високі, що є нерентабельним.

За прогнозами експертів, використання віддалених робочих місць аеродромних диспетчерських вишок на аеродромах з низькою інтенсивністю польотів дозволить оптимізувати витрати провайдера аеродромного обслуговування – Украероруху – та забезпечити належний рівень безпеки польотів.

Сформульована необхідність побудови ДАДО (Remote Tower) на території України. Сучасні технічні рішення, як наприклад ДАДО (Remote Tower), дозволяють за допомогою високоточних керованих відеокамер та мережі передачі даних транслювати зображення з аеродрому на будь-яку відстань. До того ж така система матиме подвійне резервування та забезпечуватиме точність отриманої інформації в будь-який час доби й у складних метеорологічних умовах.

Це дозволить краще використовувати наявні ресурси та засоби та знизити витрати на послуги аеропорту для користувачів повітряного простору.

Сформульовано задачі до дипломної роботи:

**Задача №1:** Провести аналіз існуючих систем ДАДО (Remote Tower) і сформулювати перспективність використання даної системи для ОПР України.

**Задача №2:** Розробити структуру системи ДАДО (Remote Tower) в Україні.

**Задача №3:** Виконати підрахунок кількості точок положення ДАДО (Remote Tower) на території України і виконати оптимізацію розміщення цих точок (критерій оптимальності - мінімальна відстань від аеропорту до точки Remote Tower).

# РОЗДІЛ №2

# Перспективи впровадження дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) в Україні

## 

## 2.1.Аналіз стану аеродромного обслуговування України

Мережа аеропортів України складається з 33 сертифікованих аеропортів, 13 з яких мають міжнародні контрольно-пропускні пункти. Аеропорти Одеса, Київ Жуляни, Харків, Дніпро та Львів вважаються стратегічними аеропортами в Україні, проте головним міжнародним аеропортом є аеропорт Бориспіль. Він забезпечує ОПС понад 44% усіх операцій в аеропортах та аеропортах України, і він обробляє понад 67% загального річного пасажиропотоку в аеропортах України [20].

Служба управління аеродромом надається на 17 цивільних аеродромах України (Чернівці, Дніпро, Ужгород, Івано-Франківськ, Харків, Кропивницький, Кривий Ріг, Київ (Бориспіль), Київ (Жуляни), Львів, Полтава, Херсон, Одеса, Рівне, Сумська, Вінницька, Запорізька) та аеродромна служба польотної інформації на 4 аеродромах (Миколаїв, Тернопіль, Канів (Пекари) та Черкаси). Зважаючи на те, що 44% рейсів IFR здійснює Київська (Бориспільська) вежа, решта рейсів розподіляються серед інших 13 веж в Україні. (див. діаграма 1)

|  |
| --- |
|  |
| Діаграма 1 Кількість рейсів у аеропортах |

Для розуміння завантаженості кожного з аеропортів проведено підрахунок рейсів за день (див. табл. 2.1):

Таблиця 2.1. Кількість рейсів за день у аеропортах України

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Найменування аеропортів | Код ICAO | Код IATA | Координати | Кількість Рейсів |
| Бориспіль | UKBB | KBP | 50°20′41″ с. ш. 30°53′36″ в. д. | 446 |
| Дніпро | UKDD | DNK | 48°21′26″ с. ш. 35°06′02″ в. Д | 20 |
| Запоріжжя (Мокрая) | UKDE | OZH | 47°52′01″ с. ш. 35°18′57″ в. д. | 18 |
| Київ (Жуляни) | UKKK | IEV | 50°24′06″ с. ш. 30°27′06″ в. д. | 61 |
| Харків (Основа) | UKHH | HRK | 49°55′28″ с. ш. 36°17′24″ в. д. | 35 |
| Вінниця (Гавришівка) | UKWW | VIN | 49°14′22″ с. ш. 28°36′50″ в. д. | 2 |
| Івано-Франківськ | UKLI | IFO | 48°53′03″ с. ш. 24°41′10″ в. д. | 18 |
| Чернівці | UKLN | CWC | 48°15′35″ с. ш. 25°58′54″ в. д. | 4 |
| Ужгород | UKLU | UDJ | 48°38′03″ с. ш. 22°15′48″ в. д. | 2 |
| Львів | UKLL | LWO | 49°48′45″ с. ш. 23°57′22″ в. д. | 49 |
| Одеса | UKOO | ODS | 46°25′26″ с. ш. 30°40′35″ в. д. | 54 |
| Херсон (Чернобаївка) | UKOH | KHE | 46°40′05″ с. ш. 32°30′07″ в. д. | 4 |
| Маріуполь | UKCM | MPW | 47°04′21″ с. ш. 37°27′23″ в. д. | 2 |

Враховуючи те, що аеропорт "Бориспіль" є головним аеропортом в Україні, він може не вважатися кандидатом на реалізацію концепції віддаленої вежі. Інші башти забезпечують ОПР 65 або менше польотів на день, тому можуть розглядатися як хороші варіанти реалізації концепції віддаленої вежі для підвищення ефективності витрат та зниження витрат на надання ОПР у віддалених місцях.

Усі вежі стратегічних аеродромів пройшли модернізацію або були побудовані з нуля (наприклад, вежі Харківського та Київського аеродромів Жуляни) та оснащені найсучаснішими технологіями для забезпечення ОПС, тому запровадити економічно недоцільно. віддалені вежі в цих аеропортах. Тому фокус на реалізації концепції віддаленої вежі може бути зроблений на малих регіональних аеропортах з низьким рівнем руху [26].

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.1. Статистика рейсів за день у аеропортах з низькою кількістю польотів |

У період з червня 2016 року по листопад 2019 року регіональні аеропорти, які надають послугу управління аеродромом (Суми, Рівне, Полтава, Кропивницький, Ужгород, Кривий Ріг, Вінниця, Херсон, Івано-Франківськ, Запоріжжя та Чернівці) в середньому обслуговували 4 рейси день(див. рис. 2.1), що означає, що місцеві ресурси вежі використовувались для забезпечення ОПС лише кількома літаками. Крім того, на деякі аеропорти впливає сезонна мінливість руху, наприклад, аеропорти Вінниця та Кривий Ріг, які мають лише кілька рейсів або жодних рейсів у зимовий сезон.

Отже, економічно доцільно та ефективно не підтримувати об'єкти та ресурси локально на аеродромах. Концепція віддаленої вежі могла б дозволити оптимізувати ресурси на регіональних аеродромах та забезпечити більшу гнучкість у складі персоналу та розподілі ресурсів. У ході випробувань було підтверджено, що реалізація віддаленого баштового центру, що обслуговує декілька аеродромів, є більш ефективною, ніж реалізація окремих модулів віддаленої башти на аеродром у різних місцях.

Зважаючи на низький рівень трафіку в українських регіональних аеропортах, можна встановити центр ДАДО (Remote Tower) в послідовній конфігурації, що означає, що три аеропорти можуть контролювати лише один контролер і супервізор замість трьох контролерів і три контролери в разі звичайної вежі. Зі збільшенням трафіку послідовну конфігурацію можна перетворити на одночасну конфігурацію, щоб мати спеціальні контролери, що забезпечують АТС на певних аеродромах. Повітряний простір України поділено на 5 регіональних інформаційних регіонів (FIR): Київ, Львів, Одеса, Дніпро, Сімферополь [38]. У центральних містах кожного FIR можуть бути створені віддалені центри для надання послуг управління аеродромом в регіональних аеропортах.

У такій конфігурації послуги управління аеродромом надаватимуться з таких RTC:

• Київський ДАДО (Remote Tower) з баштовими модулями для Вінницької ДАДО (Remote Tower), Кропивницького ДАДО (Remote Tower), Черкаської AFIS та Kaniv AFIS

• Дніпропетровський ДАДО (Remote Tower) з баштовими модулями для Запорізької ДАДО (Remote Tower), Криворізької ДАДО (Remote Tower), Полтавської ДАДО (Remote Tower) та Сумської ДАДО (Remote Tower).

• Одеський ДАДО (Remote Tower) з баштовими модулями для Херсонської ДАДО (Remote Tower) та Миколаївської AFIS.

• Львівський ДАДО (Remote Tower) з баштовими модулями для Івано-Франківської ДАДО (Remote Tower), Чернівецької ДАДО (Remote Tower), Рівненської ДАДО (Remote Tower), Ужгородської ДАДО (Remote Tower) та Тернопільської AFIS.

Розгортання ДАДО (Remote Tower) та міграція місцевих веж аеродрому до віддалених модулів може здійснюватися поступово, починаючи з аеродромів із меншим трафіком та додаючи більше ДАДО (Remote Tower) після успішних операцій для невеликих аеродромів. Наприклад, Київський ДАДО (Remote Tower) спочатку може бути встановлений одним RTM для Кропивницького ДАДО (Remote Tower) та Черкаської AFIS, оскільки Кропивницький ДАДО (Remote Tower) обслуговує в середньому менше 1 рейсу на день. Низький трафік на аеропорту Кропивницького дозволить диспетчеру обслуговувати та надавати AFIS також до аеропорту Черкаси.

## 2.2. Структура системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування України

Основною компанією, що надавала послуги з установки віддалених точок ДАДО (Remote Tower) у всьому світі, є SAAB. Вони успішно встановили своє обладнання і ввели в експлуатацію в 2014 році перший віддалено керований аеропорт міста Оrnskоldsvik (Швеція). Для контролю над аеродромом компанія SAAB встановлює наступне обладнання: 14 цифрових камер високого дозволу, pan-tilt-zoom камери, які підтримують віддалене управління напрямком і зумом, система кодування відеосигналу, мікрофони, метрологічні датчики та інші системи (навігації, світлосигнального обладнання і т. д.) монітори з високою роздільною здатністю для відображення 360-градусної панорами льотного поля, систему стереозвуку, систему управління pan-tilt-zoom камерами, інтегрований пульт управління всіма системами аеродрому, а також індикатор повітряної обстановки . Для забезпечення безперервного контролю над аеродромом Оrnskoldsvik використаний широкий склад обладнання. Але тут варто враховувати те, що шведський аеропорт розташований на невеликій відстані від віддаленого ДАДО (Remote Tower), що виключає проблеми з реалізацією передачі голосових повідомлень між диспетчером і екіпажам. Проаналізувавши склад обладнання, можна прийти до висновку, що основною складністю є установка систем на самому аеродромі, так як склад робочого місця диспетчера на точці ДАДО (Remote Tower) досить простий. Інша технологія, яку можливо використовувати для диспетчерського обслуговування малих аеропортів автоматичне залежне спостереження. Воно засноване на отриманні інформації про рух повітряних суден від супутників.

Суть системи в тому, що на льотному полі аеродрому встановлюється система з відеокамерами високої роздільної здатності, що забезпечують круговий огляд; відеосигнали камер передаються в віддалений центр управління повітряним рухом, де відтворюються на великорозмірних дисплеях, що імітують вікна (відеопанорами), і у диспетчерів створюється повне відчуття роботи на реальному диспетчерській вежі.

З огляду на особливості і обсяг трафіку між віддаленим ДАДО (Remote Tower) і контрольованим аеродромом, неможливо повною мірою реалізувати функціонал перспективної системи УПС в рамках однієї системи супутникового зв'язку при існуючих технічних можливостях супутників-ретрансляторів. Більш перспективним є використання комбінації систем зв'язку, де функції передачі відеопотоку і доставка циркулярної інформації, що вимагає високої пропускної здатності каналу зв'язку, покладається на геостаціонарні супутники-ретранслятори, основані на застосуванні технології малогабаритних супутникових терміналів VSAT (Very Small Aperture Terminal). Для реалізації ж інтерактивного мовного обміну диспетчер-пілот, а також для передачі інформації про поточні координати ПС, отриманих за допомогою глобальних супутникових систем позиціонування ГЛОНАСС / GPS, і додаткових даних, повинні бути забезпечені мінімальні затримки поширення сигналів, що можливо при використанні негеостаціонарних систем зв'язку, функціонал яких дозволяє мати надійний канал зв'язку в будь-якій точці земної кулі (див. рис.2.2.).

Системи зв'язку, що використовують геостаціонарні ретранслятори, принагідно представлять високошвидкісні канали зв'язку (до 20 Мбіт / с) мають недоліки. До них слід віднести відсутність можливості забезпечення радіозв'язку в приполярних і полярних районах. Негеостаціонарні, зокрема низькоорбітальні системи зв'язку, забезпечують мінімальну тискову затримку (0,250 мс) при передачі голосу або невеликого обсягу даних і при цьому швидко встановлюють і підтримують з'єднання з абонентом, в тому числі в полярних областях [13]. Приймально-передавальні термінали мають мінімальні масогабаритні характеристики і дозволяють розміщуватися на будь-якому типі ПС.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок.2.2. Супутникова система позиціонування ГЛОНАСС / GPS |

В даному випадку зв'язок з ПС здійснюється за принципом автоматичного залежного спостереження контрактного типу в рамках системи FANS (Future Air Navigation System). Через порівняно невеликий обсяг необхідних даних можливе використання також низькошвидкісних каналів зв'язку (в тому числі із застосуванням низькоорбітальних супутникових систем зв’язку (ССЗ)). Переваги такого диспетчерського обслуговування наступні:

− можливість створення ефекту присутності незалежно від того, в якій точці простору знаходиться контрольоване ПС;

− можливість передбачати траєкторію польоту ПС, що особливо важливо на етапі зльоту-посадки;

− можливість прогнозування потенційно конфліктних ситуацій;

− можливість допомоги екіпажу ПС при виконанні зльоту-посадки в складних метеоумовах при відсутності бортової системи синтезованого бачення (SVS).

Застосовуючи пропонований метод в комбінації з системами відеоспостереження віддаленого аеродрому, представляється можливим отримати відмовостійку систему синтезованого бачення диспетчера, що використовує два незалежних джерела даних про повітряну обстановку, що забезпечує спостереження в будь-який час доби в будь-яких метеоумовах, що сприятиме значному підвищенню безпеки польотів ПС.

На основі аналізу подібних систем Remote Tower та у зв’язку з необхідністю впровадження подібної системи в Україні пропонується наступна схема системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (див. рис.2.3.1.,2.3.2.).

Формулюючи цілісність встановлення точок ДАДО (Remote Tower) на території існуючих аеродромів, які знаходяться неподалік від сусідніх аеропортів, проаналізуємо структуру роботи обладнання вже існуючих точок ДАДО (Remote Tower). У випадку встановлення віддаленої диспетчерської вишки фізичне місце розташування авіадиспетчера не має ніякого значення. У чому плюси такого підходу:

1) Економія

Набагато дешевше 1 раз встановити відповідне обладнання, ніж утримувати службу УПР (Управління Повітряним Рухом).

2) Підготовка

У слабо завантажених аеропортах підготовка авіадиспетчерів часто буває дуже слабкою. І це нічого не говорить про самих диспетчерів. Просто при відсутності постійного руху навички втрачаються і підготовка на диспетчерських тренажерах не може замінити реальну практику.

3) Багатофункціональність

Система також дозволяє підключити декілька аеродромів до одного робочого місця. Іншими словами, якщо відомо, що найближчим часом очікується прибуття літака, диспетчер просто переключається на потрібний аеродром і забезпечує диспетчерське обслуговування. А потім, таким же чином перемикається на інший аеродром і т.д.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.3.1. Система дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування України |

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.3.2. Система дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування України |

Очевидно, що система віддаленого ДАДО (Remote Tower) має перспективи не тільки для віддалених аеродромів з малою інтенсивністю польотів, а й для аеропортів із середнім і високим показником злітно-посадкових операцій на добу. Будівництво нових злітно-посадкових смуг (ЗПС) характерно для більшості великих аеропортів світу, але не завжди нові ЗПС добре проглядаються з диспетчерської вишки. Для того щоб скоротити витрати на будівництво пункту ДАДО (Remote Tower) в новому місці, такі аеродроми планують переводити на часткове віддалене управління, де частина аеродрому буде контролюватися відеокамерами, а диспетчер отримає можливість спостерігати за самими віддаленими місцями аеродрому [12].

Явним плюсом даної системи є підвищення безпеки польотів при низькій видимості (туман). При наявності інформації, яка виведена на екран монітора, у диспетчера ОПР є можливість спостерігати розташування злітної смуги без зорового контакту з самим повітряним судном. У тому випадку якщо система віддалених вишок розгортається в районах з відсутністю наземних мереж зв'язку, то єдиним можливим засобом забезпечення інформацією є супутникові системи зв'язку (ССЗ) на базі геостаціонарних і негеостаціонарних ретрансляторів. За допомогою супутникових каналів зв'язку можна досить швидко сформувати глобальну мережеву інфраструктуру, у якій будуть найвищі показники надійності з низьким рівнем помилок (не більше однієї на 10 млн переданих біт інформації), що дозволить органу ОПР розташовуватися в будь-якій точці земної кулі і при цьому вести обмін мовною інформацією та даними з контрольованими повітряними суднами, що особливо важливо для літаководіння в умовах відсутності контролю радіолокації.

Аеродромний диспетчер повинен мати повний візуальний огляд контрольованого повітряного руху зі свого робочого місця. Для вирішення цього завдання передбачається використовувати рідкокристалічні дисплеї, які дозволяють спостерігати кругову картину того, що відбувається на аеродромі, замінивши, таким чином, вид з вікон звичайних аеродромних диспетчерських вишок на 360 градусів. Вигоди є істотними: скорочення потреби капітальних витрат на нові вишки, відсутність необхідності утримувати служби ОПР, гнучкість розгортання аеродромів, підвищення безпеки польотів і пропускної здатності, особливо на невеликих аеродромах з обмеженими можливостями з надання послуг з ОПР. Подібний комплекс призначений для автоматизації незалежного візуального спостереження і контролю в умовах обмеженої видимості за рухом повітряних суден, транспорту і інших об'єктів на площі маневрування аеродрому. На віддаленому аеродромі повинна бути створена система, що дозволяє автономно оцінювати стан метеоумов і стан навколишнього середовища та інформувати повітряні судна (ПС) про готовність або неготовність прийняти літак. Людина в системі розглядається як контролююча ланка, участь якої передбачається в надзвичайній ситуації, що виходить за рамки нормального функціонування системи.

Не менш важливою задачею є визначення місць розміщення точок РТ на території України, що і пропонується виконати в наступних пунктах дипломної роботи.

## 2.3.Синтез системи віддаленого диспетчерського обслуговування України.

На території України нами пропонується використати концепцію ДАДО шляхом утворення деяких вишок Remotе Tower , розташованих поблизу аеропортів, в яких обслуговується маленька кількість рейсів ,які розташовані один від одного максимально близько.

Завдяки використанню цієї концепції, ми хочемо розмістити ДАДО (Remote Tower) на території України поблизу до таких аеропортів (див. рис.2.4.):

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.4. Аеропорти, поблизу яких пропонується встановлення ДАДО |

Таким чином задача синтезу системи ДАДО (Remote Tower ) складається з наступних етапів:

1. Визначення кількості сегментів системи ДАДО (Remote Tower).
2. Розрахунок координат розміщення точки ДАДО (Remote Tower) при умові мінімізації відстані між ДАДО (Remote Tower). І всіма аеропортами, які обслуговуватимуться завдяки ДАДО (Remote Tower).
3. Уточнення координат розміщення точки ДАДО (Remote Tower). З урахуванням щільності ВД.

Вирішення даної задачі є задачею нелінійного програмування.

Необхідно мінімізувати відстань від ДАДО (Remote Tower) до кожного з аеропортів, які включені у j-й сегмент [9]. Математично дана задача описується наступним функціоналом :



*х1,* *y1* - координати ДАДО (Remote Tower),

*xi, yi* – координати аеропорту, який включений в сегмент.

Існує декілька методів вирішення даної задачі (Рис. 2.5.).

1. Алгоритм повного перебору (АПП) виконує пошук в просторі N! рішення власне перебором всіх варіантів. Результатом роботи алгоритму є точне вирішення. Недоліком АПП є його тимчасова складність. Простір пошуку росте експоненційно відносно числа пунктів, тому коли N! не є достатньо малим використовують евретичні та пошукові алгоритми [2]. В результаті проведення розрахунків з використанням даного точного методу отримуємо мінімальну відстань маршруту, яка є ідентичною для першого варіанту 125 800 м і 133 200 м для другого варіанту.
2. «Жадібний» алгоритм полягає в виборі на кожному кроці найкоротшого, ще не підібраного ребра, при умові, що він не утворює цикл з вже вибраними ребрами.

«Жадібним» цей алгоритм названий тому, що на останніх кроках доводиться розплачуватися за жадібність. (Повертатися в початковий пункт по самому довгому шляху). При вирішенні завдання комівояжера жадібний алгоритм перетвориться в стратегію «йди в найближчий (у який ще не входив) пункт ». В результаті проведення розрахунків з використанням даного методу отримуємо довжину маршруту, що дорівнює для першого варіанту 126 600 м і 164 000 м для другого варіанту.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.5.Тимчасова схема порівняння методів пошуку оптимальних маршрутів обліту вогнищ надзвичайних ситуацій (підходить до першого варіанту) |

1. Генетичний алгоритм – евретичний алгоритм пошуку, який використовується для вирішення задач оптимізації і моделювання шляхом випадкового підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, які нагадують біологічну еволюцію, є різновидністю евулюційних розрахунків. Відрізняюча особливість генетичного алгоритму є акцент на використанні оператора «схрещування», який проводить операцію рекомбінації рішень кандидатів, роль якої є аналогічною ролі схрещування в живій природі. Генетичні алгоритми служать головним чином для пошуку рішення в багатомірних просторах пошуку. В результаті проведення розрахунків з використанням даного методу отримуємо довжини маршрутів рівними для першого варіанту 126 300 м і 133 200 м для другого варіанта.
2. Алгоритм мурашиної колонії (чи оптимізація по принципу мурашиної колонії – назва була придумана винахідником алгоритму, Марко Дориго [24]), оснований на застосуванні деяких агентів і володіє специфічними , притаманними мурахам, властивостями, які використовуються для орієнтації в фізичному просторі.

Алгоритми мурашиної колонії особливо цікаві тому, що їх можна використовувати для вирішення не тільки статичних, але й динамічних задач, наприклад в сітях з змінюючою структурою [8]. В результаті проведення розрахунків з використанням даного методу отримуємо довжини маршрутів, які дорівнюють 125 800 м і 138 500 м відповідно.

1. Метод гілок і границь: треба розділити велике число перебраних варіантів на класи і отримати оцінки (знизу в задачі мінімізації, зверху в задачі максимізації) для цих класів, щоб мати можливість відібрати варіанти не по одному, а цілими класами. Трудність в тому, щоб знайти такий розділ на класи (гілки) і такі оцінки (границі), щоб процедура була ефективною [26]. В результаті проведення розрахунків з використанням даного методу ми отримуємо довжину маршрутів 125 800 м і 142 100 м.

Алгоритм градієнтного спуску - метод знаходження мінімального значення функції втрат (існує безліч видів цієї функції). Мінімізація будь-якої функції означає пошук найглибшої западини в цій функції. Функція використовується, щоб контролювати помилку в прогнозах моделі машинного навчання. Пошук мінімуму означає отримання найменшій можливій помилки або підвищення точності моделі. Суть алгоритму - процес отримання найменшого значення помилки. Аналогічно це можна розглядати як спуск в западину в спробі знайти золото на дні ущелини (найнижче значення помилки).

### 2.3.1.Методика розрахунку розміщення точок дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) на території України

На першому етапі вирішується завдання кількості сегментів системи ДАДО (Remote Tower). Використовується наступний алгоритм:

КРОК 1. Для кожного джерела інформації ( аеропорт)складаємо список *К* його найближчих сусідів та визначаємо частоту появи кожного джерела інформації в списках.

Якщо , то для *j*-го джерела інформації .

Всі джерела інформації з однаковою частотою l заносимо в список *Sl*.

Обчислюємо нижню границю частоти класів, що підлягають до розгляду:

,

де *Zl* - число джерел інформації в списку *Sl*;

[ ] – ціла частка числа;

*N* - загальне число джерела інформації в мережі.

КРОК 2. Визнаємо первинну множину кандидатів в розміщення точки ДАДО (Remote Tower) Sω\*, потім до нього додаємо джерело інформації в порядку зменшення частот з . Пpи цьому їх число обмежується зверху величина *n*/2.

На другому етапі визначаються початкові координати точки ДАДО (Remote Tower)кожного сегменту та кількість аеропортів у даному сегменті. Початкові значення координат ДАДО (Remote Tower) визначаються як середнє арифметичне координат аеропортів ,який належать даному сегменту.

;

де *,*  – координати ДАДО (Remote Tower);

*n* - число аеропортів у сегменти.

Далі використовується метод градієнтного спуску, змінюючи *Х1* та *Y1*, мінімізується функціонал:

.

Отримуємо уточнені значення координат кожного РТ *Х1* і *Y1*.

На третьому етапі уточнюються координати ДАДО (Remote Tower) у кожному сегменті з урахуванням щільності повітряного руху. При цьому за методом найшвидшого спуску мінімізується функціонал [46]:

.

В результаті аналізу даних алгоритмів визначається, що мінімальне функціонування ми будемо визначати методом градієнтного спуску.

### 2.3.2.Розрахунок компонентів системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower)

Першим кроком було проведено визначення кількості точок на карті України (див. рис.2.6.), з найбільшою кількістю рейсів та найсприятливішими умовами для роботи з системою ДАДО (Remote Tower):

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.6. Точки для можливого встановлення ДАДО |

Визначаючи точки на карті з найбільш функціонуючими аеропортами треба визначити «найближчих сусідів» на карті. Для цього використано метод визначення «Найближчого сусіда».

Метод найближчих сусідів простий непараметричний [класифікаційний](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0_%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97) метод, де для класифікації об'єктів у рамках простору властивостей використовуються відстані (зазвичай евклідові), пораховані до усіх інших об'єктів. Вибираються об'єкти, до яких відстань найменша, і вони виділяються в окремий клас [48]. Для кожного джерела інформації складаємо список К його найближчих сусідів та визначаємо частоту появи кожного джерела інформації в списках.

**.**

Якщо, то для j-го джерела інформації 

Метод найближчих сусідів— метричний алгоритм для автоматичної класифікації об'єктів. Основним принципом методу найближчих сусідів є те, що об'єкт присвоюється тому класу, який є найбільш поширеним серед сусідів даного елемента (див. рис.2.7). Сусіди беруться, виходячи з множини об'єктів, класи яких уже відомі, і, виходячи з ключового для даного методу значення k, вираховується, який клас є найчисленнішим серед них. Кожен об'єкт має кінцеву кількість атрибутів (розмірностей). Передбачається, що існує певний набір об'єктів з уже наявною класифікацією.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.7. Приклад створення центру віддаленої вежі |

Користуючись цим методом вдалось визначити «Найближчих сусідів» (див. рис.2.8.) для можливих точок нової вишки ДАДО (Remote Tower).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.8. Найчастіша поява аеропортів, як «найближчих сусідів» |

Проаналізувавши дану ситуацію на території повітряного простору України було визначено кількість рейсів за день та кількість рейсів за місяць по всій території України. Враховуючи те, що на території України наявно 33 аеропорти, з них активно працюючі – 13. Завдяки цьому проведено розділ аеропортів на 4 функціонуючі сегменти (див. табл. 2.2):

Таблиця 2.2. Функціонуючі сегменти

|  |  |
| --- | --- |
| **Сегмент № 1** |  |
| Львів | 49°48′45″ с. ш. 23°57′22″ в. д. |
| Ужгород | 48°38′03″ с. ш. 22°15′48″ в. д. |
| Івано-Франківськ | 48°53′03″ с. ш. 24°41′10″ в. д. |
| Чернівці | 48°15′35″ с. ш. 25°58′54″ в. д. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Сегмент № 2** |  |
| Одеса | 46°25′26″ с. ш. 30°40′35″ в. д. |
| Херсон | 46°40′05″ с. ш. 32°30′07″ в. д. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Сегмент № 3** |  |
| Дніпро | 48°21′26″ с. ш. 35°06′02″ в. Д |
| Запоріжжя | 47°52′01″ с. ш. 35°18′57″ в. д. |
| Маріуполь | 47°04′21″ с. ш. 37°27′23″ в. д. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Сегмент № 4** |  |
| Жуляни | 50°24′06″ с. ш. 30°27′06″ в. д. |
| Вінниця | 49°14′22″ с. ш. 28°36′50″ в. д. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Середні координати** | |
| **Сегмент № 1** | 48.63715 23.93085 |
|  |  |
| **Сегмент № 2** | 46.3265 31.3521 |
|  |  |
| **Сегмент № 3** | 47.5916 35.8394 |
|  |  |
| **Сегмент № 4** | 49.6914 29.3178 |

Визначено, що кількість рейсів не перевищує навантаження на диспетчерів. А отже можливість зменшити функціонування в кожному аеропорту та встановити віддалено диспетчерську вишку зростає.

Для визначення координат можливих нових точок ДАДО (Remote Tower) на території України довелось скористатися методом «градієнтного спуску».

Кандидати для розміщення ДАДО (Remote Tower):

1. UKDE з координатами 35.1857 47.5201 та частотою появи 4
2. UKDD з координатами 35.0602 48.2126 та частотою появи 4
3. UKHH з координатами 36.1724 49.5528 та частотою появи 4
4. UKWW з координатами 28.365 49. 1422 та частотою появи 4
5. UKLN з координатами 25.5854 48.1535 та частотою появи 4

У всьому світі є аеропорти з обмеженим рухом, багато з яких можуть, і часто вже користуються системами веж з дистанційним управлінням.

Потреба в віддалених вежах зростає. Маленькі аеропорти більше не обслуговуються 24-7, і віддалені системи стали необхідністю. Отже, як це може бути безпечним рішенням?

Хоча в башті нікого немає фізично, відеоекрани показують вид з вежі відповідальному персоналу. Це означає, що контролер може базуватися в певному місці, але може одночасно керувати декількома аеропортами в інших місцях. IndraNavia має великий досвід роботи з віддаленими вишками, і важливою частиною цього є система управління повітряним рухом InNOVA. Доведено, що віддалені баштові системи дуже економічні в порівнянні з традиційними системами. Тому ми, швидше за все, побачимо набагато більше цих систем в майбутньому. IndraNavia буде продовжувати залишатися на піку технологій в системах віддалених веж. Система віддаленої вежі Saab була розроблена в тісній співпраці зі Шведським управлінням цивільної авіації. Система забезпечує безпечні та економічно ефективні засоби управління повітряним рухом в аеропорту віддалено з іншого місця.

Система працює за рахунок розгортання камер високої чіткості, інфрачервоних камер і камер з поворотним зумом, доповнених набором підтримують технологій і мережевих з'єднань. Пряма трансляція відео надійно передається на контролер в окремому місці, який перебуває у «модуля віддаленої вишки», включаючи панорамний масив екранів високої чіткості, які забезпечують вид «з вікна» аеропорту. У модулі контролера екран перекривається інформацією з додаткових джерел - таких як вторинний радар і автоматичне залежне мовлення спостереження (ADS-B), де це можливо, - який покращує візуальні образи для використання в нормальних умовах і покращує ситуаційний контроль контролера обізнаність в умовах поганої видимості. Додаткові функції можуть включати в себе відстеження об'єктів, 30-кратне збільшення зображення, оповіщення на основі руху, інфрачервоний зір і моніторинг точок доступу. У першій програмі SESAR (2008-2016 рр.)

Хоча загальноприйнята концепція експлуатації вежі УПС довела свою безпеку в поточних повсякденних операціях, розгортання RTS має потенційні переваги в плані безпеки. Невеликі аеродроми, в даний час приймають тільки аеродромну службу польотної інформації (AFIS), можуть бути переведені на повністю контрольовані аеродроми [54]. Інші аеропорти, що зіштовхуються зі скороченнями через невеликої кількості рейсів, можуть як і раніше надавати послуги ОПС, хоча б протягом обмеженого часу в день. Те ж саме вірно для областей, де зруйнована інфраструктура (наприклад, після пожежі) або нестабільна ситуація з безпекою (наприклад, зони військових дій) вимагають швидкого встановлення і експлуатації засоби управління.

Сучасні концепції RTS включають в себе ряд функцій відстеження. Положення літака можна легко відстежувати за допомогою ярлика, прикріпленого поруч з відслідковується метою на екрані диспетчера, в якому вказана інформація про позивній, висоті і відстані, в тому числі. Наземний персонал і транспортні засоби можуть бути відслідкувано, а також птахи та інші тварини або зловмисники. Набіги на ЗПС можуть бути виявлені автоматично.

При підвищенні пильності контролера необхідно дотримуватися обережності, щоб не перевантажувати контролер занадто великою кількістю інформації, що призводить до ситуації, коли у контролерів виникає певна втома тривоги через постійні входів. Координація завдань повинна бути ретельно оцінено, так як диспетчери, ймовірно, будуть проводити більше часу «головою вниз», концентруючись на управлінні системами (наприклад, електронними смугами), замість того, щоб реально спостерігати за рухами. Зворотне також може мати місце в аеропортах з дуже невеликою кількістю рухів, коли продуктивність контролерів і рівні стимуляції збільшуються завдяки оптимальному розподілу робочого навантаження (закон Йеркса-Додсон).

Розширені можливості подання декількох вхідних даних можуть привести до поліпшення візуального відтворення, особливо в сутінках і вночі, а також в погану погоду [43]. Використання інфрачервоних камер дозволяє оцінювати погоду і виявляти цілі навіть у повній темряві. Ідея віддаленої аварійної вежі, що забезпечує, принаймні, деякий рівень обслуговування або таке ж обслуговування при зниженій швидкості руху, вигідна з точки зору безпеки в порівнянні з необхідністю повного закриття аеропорту.

Наявність декількох контролерів, присутніх в одному і тому ж ДАДО (Remote Tower), також може привести до кращої координації між блоками ATS.

## 2.4.Синтез структури системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) України

Завдання синтезу структури системи ДАДО (Remote Tower) України- завдання нелінійного дискретного програмування та точні методи її вирішення для задач великої розмірності не використовуються через великі витрат ресурсів. Тому широко застосовують наближені методи, за допомогою яких можуть бути отримані субоптимальних рішення. Методи синтезу структури системи ДАДО (Remote Tower) України припускають попереднє рішення задачі визначення місць розміщення серверів і підмножин ІІ, підключених до них. Таке завдання може бути вирішене, наприклад, з використанням евристичної процедури.

Синтез проводиться для 13 джерел інформації з добовими обсягами інформації від 200 до 1200 кбайт. При уточненні координат концентратора даних і сервера використовувався градієнтний метод найшвидшого спуску спільно з методом золотого перетину. Розрахунок координат проведений в залежності від відстаней до джерел і від обсягів добової інформації та вартості оренди каналів зв'язку.

Дослідивши систему роботи обладнання дистанційної диспетчерської вишки робимо висновок, що доцільно встановлення точок ДАДО (Remote Tower) на територіях вже існуючих аеродромів. Причиною цьому відсутність витрат на будівництво нової диспетчерської вишки на віддаленій території від аеропортів, відмінна робота каналів зв’язку між диспетчером та повітряним судном, а також невелика відстань до робочого місця для працівників пункту ДАДО (Remote Tower).

# Висновки до РОЗДІЛУ №2

Розглянувши структуру системи аеродромного обслуговування України проведено розрахунок кількості рейсів у 13 функціонуючих аеропортах, які мають міжнародний контрольно-пропускний пункт. Проаналізувавши стан цих аеропортів впевнилися, що вони функціонально є цілком придатними для роботи з системою ДАДО (Remote Tower).

Запропоновано структуру системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) в Україні. Запропоновано професійне обладнання для роботи ДАДО (Remote Tower) на території України.

Було визначено задачу синтезу системи ДАДО (Remote Tower ), яка складається з наступних етапів: визначення кількості сегментів системи ДАДО (Remote Tower), розрахунок координат розміщення точки ДАДО (Remote Tower) при умові мінімізації відстані між ДАДО (Remote Tower) і всіма аеропортами, які обслуговуватимуться завдяки ДАДО (Remote Tower), уточнення координат розміщення точки ДАДО (Remote Tower) з урахуванням щільності ПР.

Скориставшись допоміжними математичними методами вдалось вирішити задачу. За допомогою алгоритму повного перебору визначили мінімальну відстань маршруту. Методом «жадібного» алгоритму, генетичного алгоритму, методом гілок і границь та алгоритму мурашиної колонії вдалось визначити довжини маршрутів.

Аналізуючи методику розрахунку розміщення точок ДАДО (Remote Tower) на території України було вирішено завдання кількості сегментів системи ДАДО (Remote Tower), визначено початкові координати точки ДАДО (Remote Tower) кожного сегменту та кількість аеропортів у даному сегменті. Далі уточнили координати ДАДО (Remote Tower) у кожному сегменті з урахуванням щільності повітряного руху. Аналіз даних алгоритмів уможливив визначення мінімального функціонування методом «градієнтного спуску».

Користуючись методом пошуку «найближчих сусідів» вдалось визначити найближчих сусідів для можливих точок нової вишки ДАДО (Remote Tower). Завдяки цьому було розділено аеропорти на 4 сегменти. Скориставшись методом «градієнтного спуску» визначено координати можливих точок ДАДО (Remote Tower) на території України.

Проаналізовано синтез структури системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) України.

**РОЗДІЛ №3**

**Програмне забезпечення**

## 3.1.Програмний розрахунок координат точок дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower).

Було розроблено програмне забезпечення на мові Java для вирахування «найближчих сусідів» , для розрахунку координат та положення точок ДАДО (Remote Tower).

Програма вираховує «найближчих сусідів», визначає середнє значення точки ДАДО (Remote Tower), частоту появи аеропортів, мінімальну частоту появи аеропортів, нижню границю класів, максимальну частоту появи аеропортів, вираховує кандидатів для положення ДАДО (Remote Tower), координати для можливого розміщення ДАДО (Remote Tower) та уточнені координати точок ДАДО (Remote Tower).

Для розрахунку можливого розміщення ДАДО (Remote Tower) потрібно ввести назву аеропорту та координати (довготу та широту) (див. рис. 3.1.1.,3.1.2.,3.1.3.).В дане програмне забезпечення ми маємо ввести всі точки аеропортів та їх координати.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| |  | | --- | |  | | Рисунок 3.1.1. Назва аеропорту та координати | |
| |  | | --- | |  | | |  | | --- | | Рисунок 3.1.2. Назва аеропорту та координати | |  | |   Рисунок 3.1.3. Назва аеропорту та координати |

Програмне забезпечення змінює під потрібний формат даних, створює базу даних з заданими параметрами, після чого програмне забезпечення вираховує за допомогою алгоритмів та формул найближчих сусідів до кожного аеропорту (див. рис.3.2.1,3.2.2,3.2.3).

|  |
| --- |
|  |
| |  | | --- | |  | | Рисунок. 3.2.1., 3.2.2. Форма вирахування найближчих сусідів | |  | | Рисунок 3.2.3. Форма вирахування найближчих сусідів | |

Після чого програма вираховує частоту появи аеропортів, тобто вираховування наскільки часто кожен аеропорт знаходиться найближче до заданої точки. (див. рис.3.3.1.,3.3.2. ).

|  |
| --- |
|  |
| |  | | --- | | Рисунок 3.3.1. Вирахування частоти появи аеропортів | | Рисунок 3.3.2. Вирахування частоти появи аеропортів | |

Далі програмне забезпечення показує результат, який із аеропортів має мінімальну та максимальну частоту появи (див. рис. 3.4)

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.4. Вирахування програмою мінімальної та максимальної частоту появи аеропортів |

Далі програма вираховує кандидатів для розміщення ДАДО (Remote Tower) за допомогою методу «Найближчих сусідів» (див. рис.3.5).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.5. Вирахування кандидатів для розміщення ДАДО (Remote Tower) |

Наступним кроком в програмному забезпеченні є вирахування координат точок ДАДО (Remote Tower). Для того, щоб отримати результат координат точок ДАДО (Remote Tower) потрібно ввести в програмному забезпеченні всі аеропорті, які ми будемо підключати до точок ДАДО (Remote Tower), після чого програма сама розділяє на сегменти (див. рис.3.6.1.,3.6.2.,3.6.3.,3.6.4.,3.6.5.,3.6.6.).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.6.1. Поділ програмою аеропортів на сегменти |
|  |
| Рисунок 3.6.2. Поділ програмою аеропортів на сегменти |
|  |
| Рисунок 3.6.3. Поділ програмою аеропортів на сегменти |
|  |
| Рисунок 3.6.4. Поділ програмою аеропортів на сегменти |
|  |
| Рисунок 3.6.5. Поділ програмою аеропортів на сегменти |
|  |
| Рисунок 3.6.6. Поділ програмою аеропортів на сегменти |

Після поділу програмою аеропортів на певні сегменти, програмне забезпечення автоматично вираховує точні координати встановлення ДАДО (Remote Tower) відповідно до аеропортів в уже вирахуваних сегментах (3.7.1.,3.7.2.).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.7.1. Уточнені координати точок ДАДО (Remote Tower) |
|  |
| Рисунок 13.7.2. Уточнені координати точок ДАДО (Remote Tower) |

У результаті роботи програмного забезпечення отримуємо значення найближчих сусідів, мінімальну та максимальну частоту появи аеропортів, нижню границю класу, після чого визначення кандидатів для розміщення ДАДО (Remote Tower), поділ аеропортів з якими буде зв’язана дистанційна вежа (Remote Tower) на сегменти. В результаті отримуємо уточнені координати точок ДАДО (Remote Tower).

## 3.2.Уточнення координат розташування точок дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) з урахуванням мінімальних відстаней до аеропортів та щільності повітряного руху.

Програма виконує уточнення координат мінімізуючи функціонал за допомогою методу градієнтного спуску (див. рис. 3.8.1.,3.8.2.). Завдяки роботі програмного забезпечення отримуємо уточнені координати для встановлення ДАДО (Remote Tower):

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.8.1. Уточнені координати точок ДАДО (Remote Tower) |
|  |
| Рисунок 3.8.2. Уточнені координати точок ДАДО (Remote Tower) |
|  |

* Уточнені координати ДАДО (Remote Tower) №1:

Широта: 25.44014251640654

Довгота: 50.80931323967323

* Уточнені координати ДАДО (Remote Tower) №2:

Широта: 31.135884123183533

Довгота: 45.594147726590016

* Уточнені координати ДАДО (Remote Tower) №3:

Широта: 34.906800154026996

Довгота: 47.04361514758047

* Уточнені координати ДАДО (Remote Tower) №4:

Широта: 29.00526924086181

Довгота: 49.49096260766901

Таким чином отримуємо повністю визначені уточнені координати точок ДАДО (Remote Tower). (див. рис. 3.9).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.9. Уточнена координата розташування ДАДО (Remote Tower) |

## 3.3.Узагальнення структури системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower)

Точка ДАДО (Remote Tower) – динамічна мобільна оперативна бригада, яка в випадку необхідності виконання диспетчерського обслуговування власне на території аеродрому, а тобто точок, які підключені до ДАДО (Remote Tower), завжди буде на зв’язку та матиме змогу виконувати свою роботу.

В результаті математичних розрахунків, які показала програма, отримано уточнені координати точок ДАДО (Remote Tower).

На карті зеленим кольором позначені початкові координати точок ДАДО (Remote Tower), а блакитним уточнені координати точок ДАДО (Remote Tower) (див. рис 3.10).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.10. початкові та уточнені координати ДАДО (Remote Tower) |

Розглянемо сегмент №1. Зафіксовано, що розрахунки показали, що точка ДАДО (Remote Tower) № 1 максимально наближена до аеропорту Івано-Франківська. Оскільки відстань між цим аеропортом і точкою ДАДО (Remote Tower) № 1 складає 137 км, не є доцільним створювати ще одну точку центру обслуговування повітряного руху, встановлюючи там обладнання і тримаючи там групу диспетчерів.

Відстань від аеропорту Івано-Франківська до сусідніх аеропортів невелика. Зокрема відстань до аеропорту Львів складає 140 км (114 км), до аеропорту Чернівці 131 км (113 км), до аеропорту Ужгорода 300 км (173 км).

Дослідивши сегмент №2 розрахунки показали, що точка ДАДО (Remote Tower) № 2 максимально приближена до аеропорту Одеси. Оскільки відстань між цим аеропортом і точкою ДАДО (Remote Tower) № 2 складає 110 км, не є доцільним створювати ще одну точку центру обслуговування повітряного руху, а в цьому випадку на території Чорного моря. Відстань від аеропорту Одеси до сусіднього аеропорту Херсон невелика, а саме 203 км (156 км).

Розглянемо сегмент №3. Розрахунки показали, що точка ДАДО (Remote Tower) № 3 знаходиться найближче до аеропорту Маріуполя. Нажаль на сьогоднішній день аеропорт Маріуполя знаходиться близько до зони АТО, тому ми пропонуємо встановлення точки ДАДО (Remote Tower) поблизу аеропорту Запоріжжя. Так як відстань між цим аеропортом і точкою ДАДО (Remote Tower) № 3 складає 124 км, пропонуємо встановити дистанційну вишку на території аеропорту Запоріжжя.

Відстань від аеропорту Запоріжжя до сусідніх аеропортів невелика. Наприклад відстань до аеропорту Маріуполь складає 229 км (189 км), а до аеропорту Дніпро 94 км (66 км).

Останнім кандидатом на установлення дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування є сегмент №4. Розрахунки програмного забезпечення показали, що точка ДАДО (Remote Tower) № 4 максимально приближена до аеропорту Вінниці. Але не є доцільним розміщати точку ДАДО (Remote Tower) в аеропорту, який має найменшу кількість рейсів, тому ми пропонуємо розмістити точку у аеропорту Київ-Жуляни.

Відстань від аеропорту Вінниця до сусіднього аеропорту Київ-Жуляни складає 214 км (183 км).

У результаті розрахунків відстаней робимо висновок, що точки ДАДО (Remote Tower) логічно розміщувати поблизу аеропортів Ужгороду, Запоріжжя, Київ-Жуляни та Одеси, при яких буде встановлено обладнання (камери з високою роздільною здатністю, мікрофони, датчики і локальна система обробки, екрани і апаратні засоби управління) (див. рис. 3.11).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.11. Обладнання, яким будуть забезпечені системи ДАДО (Remote Tower) |
|  |

Сенс віддаленого аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) в тому, що це вигідно для аеропортів, у яких небагато рейсів. На прикладі активності сегменту №1, у якому в Ужгороді та Чернівцях в середньому 2 рейси на день, у Івано-Франківську 18 рейсів, а у Львові 50, в будь якому випадку у всіх аеропортах потрібно утримувати команду людей і робити витрати на обслуговування . Звісно вигідно витрачати ресурси на обслуговування аеропорту в якому кількість рейсів більша, ніж на аеропорт з меншою активністю в розмірі 2 рейсів.

У разі встановлення точка ДАДО (Remote Tower) у Івано-Франківську–ми розміщаємо її найбільш наближено до тих аеропортів, в яких мінімальна кількість рейсів. Це стосується і інших сегментів зі скупченням аеропортів.

Подальшим дослідженням направлень можуть бути уточнення координат точки ДАДО (Remote Tower). Для цього потрібно взяти в розрахунок інтенсивність і пропускну можливість аеропортів. В залежності від цього уточнювати координати, що є дуже важливим. Але на даний момент немає чітко описаних методик, в яких би було досліджено однозначно пораховану пропускну можливість повітряного руху кожного аеропорту. Тобто яке максимальне число обслуговування аеропортом повітряних суден. Подібна статистика ніде не знайдена, немає чіткої методики розрахунку. Відповідно це направлення послідуючих досліджень в цій тематиці.

# Висновки до РОЗДІЛУ №3

У даному розділі було проведено програмний розрахунок координат точок дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Скориставшись програмним забезпеченням на мові Java для вирахування «найближчих сусідів» , для розрахунку координат та положення точок ДАДО (Remote Tower) вдалось визначити «найближчих сусідів», середнє значення точки ДАДО (Remote Tower), мінімальну та максимальну частоту появи аеропортів, нижню границю класів, вирахувати кандидатів для положення ДАДО (Remote Tower), координати для можливого розміщення ДАДО (Remote Tower) та уточнені координати встановлення точок ДАДО (Remote Tower).

Завдяки проведеному дослідженню у програмному забезпеченні вдалось узагальнити структуру системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower).

Детально розглянувши кожен сегмент, в якому планується встановлення ДАДО (Remote Tower) ми прийшли до висновку, що логічно розміщувати дистанційні вишки поблизу аеропортів Івано-Франківська, Запоріжжя, Київ-Жуляни та Одеси, при яких буде встановлено обладнання.

Технічним обладнанням, таким як камери з високою роздільною здатністю, мікрофони, датчики і локальна система обробки, екрани і апаратні засоби управління повинна бути оснащена кожна точка ДАДО (Remote Tower). Завдяки цьому обладнанню дистанційне аеродромне диспетчерське обслуговування (Remote Tower) виконуватиме всі свої функції на 100%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі з темою «Методика побудови системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування в Україні» були детально розглянуті малі та регіональні аеропорти, які стикаються з необхідністю узгодити високу вартість експлуатації повнофункціональної диспетчерської вишки з низькими доходами від посадок і інших зборів, пов'язаних з польотом, коли пропускна здатність обмежена і переривчаста.

Розглянуто концепцію дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування ДАДО (Remote Tower), його переваги та інноваційні складові системи роботи ДАДО (Remote Tower).

Проаналізували сучасні існуючі системи ДАДО (Remote Tower) у країнах та містах Європи та США, а точніше у Швеції (Örnsköldsvik), аеропорт Саарбрюккена на південному заході Німеччини недалеко від кордону з Францією, а також шведському аеропорті Арланда.

Був здійснений аналіз структури системи повітряного руху України, виявлено, що найбільша кількість рейсів здійснюється в аеропортах Бориспіль, Київ Жуляни, Харків, Львів та Одеса. З’ясовано, що деякі з аеропортів України, зокрема такі як Запоріжжя, Дніпро, Івано-Франківськ, Кіровоград та інші, мають неповне навантаження, проте витрати на аеродромне диспетчерське обслуговування надто високі, що є нерентабельним.

За прогнозами експертів, використання віддалених робочих місць аеродромних диспетчерських вишок на аеродромах з низькою інтенсивністю польотів дозволить оптимізувати витрати провайдера аеродромного обслуговування – Украероруху – та забезпечити належний рівень безпеки польотів.

Запропоновано структуру системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) в Україні. Запропоновано професійне обладнання для роботи ДАДО (Remote Tower) на території України.

Сформульована необхідність побудови ДАДО (Remote Tower) на території України. Сучасні технічні рішення, як наприклад ДАДО (Remote Tower), дозволяють за допомогою високоточних керованих відеокамер та мережі передачі даних транслювати зображення з аеродрому на будь-яку відстань. До того ж така система матиме подвійне резервування та забезпечуватиме точність отриманої інформації в будь-який час доби й у складних метеорологічних умовах. Це дозволить краще використовувати наявні ресурси та засоби та знизити витрати на послуги аеропорту для користувачів повітряного простору.

Відповідно до сформулюваних задач дипломної роботи, розглянуто структуру системи аеродромного обслуговування України та кількість рейсів у 13 функціонуючих аеропортах, які мають міжнародний контрольно-пропускний пункт. Проаналізовано стан цих аеропортів визначено, що вони функціонально є цілком придатними для роботи з системою ДАДО (Remote Tower).

Було визначено задачу синтезу системи ДАДО (Remote Tower ), яка складається з наступних етапів: визначення кількості сегментів системи ДАДО (Remote Tower), розрахунок координат розміщення точки ДАДО (Remote Tower) при умові мінімізації відстані між ДАДО (Remote Tower) і всіма аеропортами, які обслуговуватимуться завдяки ДАДО (Remote Tower), уточнення координат розміщення точки ДАДО (Remote Tower) з урахуванням щільності ПР.

В якості методів дослідження в дипломній роботі були використані математичні методи оптимізації. За допомогою алгоритму повного перебору визначили мінімальну відстань маршруту. Методом «жадібного» алгоритму, генетичного алгоритму, методом гілок і границь та алгоритму мурашиної колонії вдалось визначити довжини маршрутів.

Аналізуючи методику розрахунку розміщення точок ДАДО (Remote Tower) на території України було вирішено завдання кількості сегментів системи ДАДО (Remote Tower), визначено початкові координати точки ДАДО (Remote Tower) кожного сегменту та кількість аеропортів у даному сегменті. Далі уточнили координати ДАДО (Remote Tower) у кожному сегменті з урахуванням щільності повітряного руху. Аналіз даних алгоритмів уможливив визначення мінімального функціонування методом «градієнтного спуску».

Користуючись методом пошуку «найближчих сусідів» вдалось визначити найближчих сусідів для можливих точок нової вишки ДАДО (Remote Tower). Завдяки цьому було розділено аеропорти на 4 сегменти. Скориставшись методом «градієнтного спуску» визначено координати можливих точок ДАДО (Remote Tower) на території України.

Проаналізовано синтез структури системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) України.

Далі був проведений програмний розрахунок координат точок дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) за допомогою програмного забезпечення.

У програмному забезпеченні на мові Java для вирахування «найближчих сусідів» , для розрахунку координат та положення точок ДАДО (Remote Tower) вдалось визначити «найближчих сусідів», середнє значення точки ДАДО (Remote Tower), мінімальну та максимальну частоту появи аеропортів, нижню границю класів, вирахувати кандидатів для положення ДАДО (Remote Tower), координати для можливого розміщення ДАДО (Remote Tower) та уточнені координати встановлення точок ДАДО (Remote Tower).

Завдяки проведеному дослідженню у програмному забезпеченні вдалось узагальнити структуру системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower).

Точка ДАДО (Remote Tower) – динамічна мобільна оперативна бригада, яка в випадку необхідності виконання диспетчерського обслуговування власне на території аеродрому, а тобто точок, які підключені до ДАДО (Remote Tower), завжди буде на зв’язку та матиме змогу виконувати свою роботу.

Детально розглянувши кожен сегмент, в якому планується встановлення ДАДО (Remote Tower) ми прийшли до висновку, що логічно розміщувати дистанційні вишки поблизу аеропортів Ужгороду, Запоріжжя, Київ-Жуляни та Одеси, при яких буде встановлено обладнання.

Технічним обладнанням, таким як камери з високою роздільною здатністю, мікрофони, датчики і локальна система обробки, екрани і апаратні засоби управління повинна бути оснащена кожна точка ДАДО (Remote Tower). Завдяки цьому обладнанню дистанційне аеродромне диспетчерське обслуговування (Remote Tower) виконуватиме всі свої функції на 100%.

Сенс віддаленого аеродромного диспетчерського обслуговування (Remote Tower) в тому, що це вигідно для аеропортів, у яких небагато рейсів. На прикладі активності сегменту №1, у якому в Ужгороді та Чернівцях в середньому 2 рейси на день, у Івано-Франківську 18 рейсів, а у Львові 50, в будь якому випадку у всіх аеропортах потрібно утримувати команду людей і робити витрати на обслуговування . Звісно вигідно витрачати ресурси на обслуговування аеропорту в якому 50 рейсів, ніж на аеропорт з меншою активністю в розмірі 2 рейсів.

В результаті дипломної роботи:

1. Проведено аналіз стану розвитку дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування України.
2. Запропоновано структуру системи дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування України.
3. Запропоновано методику розрахунку координат точок Remote Tower та виконано розрахунок відповідно цієї методики та визначені точки встановлення Remote Tower у запропонованій системі дистанційного аеродромного диспетчерського обслуговування України.

Подальшим дослідженням направлень можуть бути уточнення координат точки ДАДО (Remote Tower). Для цього потрібно взяти в розрахунок інтенсивність і пропускну можливість аеропортів. В залежності від цього уточнювати координати, що є дуже важливим. Але на даний момент немає чітко описаних методик, в яких би було досліджено однозначно пораховану пропускну можливість повітряного руху кожного аеропорту. Тобто яке максимальне число обслуговування аеропортом повітряних суден. Подібна статистика ніде не знайдена, немає чіткої методики розрахунку. Відповідно це направлення послідуючих досліджень в цій тематиці.

# ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стратегічний план розвитку державне підприємство «Міжнародний Аеропорт «Бориспіль» на період 2015-2019 [Text] // Міністерство інфраструктури України. – Київ, 2015. – 4 с.
2. Стратегічний план розвитку Державного підприємства обслуговування повітряного руху України до 2020 року [Image] // ДП «Украерорух». – Київ, 2016. – 20 p.
3. Стратегічний план розвитку Державного підприємства обслуговування повітряного руху України до 2020 року [Text] // ДП «Украерорух». – Київ, 2016. – 21 с.
4. Додаток до Стратегічного плану розвитку Державного підприємства обслуговування повітряного руху України до 2020 року [Text] // ДП «Украерорух». – Київ, 2016. – 1-36 с.
5. Пояснювальна записка до фінансового плану Державного підприємтсва «Міжнародний аеропорт “Бориспіль”» на 2018 рік [Text] // ДП Міжнародний аеропорт “Бориспіль”. – Київ, 2016 – 3 с.
6. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року [Text] // Кабінет Міністрів України. – Київ, 2018.
7. Рішення Державіаслужби України про визнання компанії ТОВ "Авіаційний розрахунковий центр" постачальником аеронавігаційної інформації в Україні - Режим доступу: 08.04.2016/https://web.archive.org/web/20160408062508/http://avia.gov.ua/documents/diyalnist/Obslugovuvannja-povitrjanogo-ruxu/%D0%86nsha-%D1%96nformac%D1%96ja
8. Просвєтов Г. І. Математичні методи в логістиці. Задачі та вирішення. Навчально-практичний довідник. - М.: Альфа-Пресс, 2014. – 304 с.
9. Dorigo M., Maniezzo V & Colorni A., «Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents», IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part B, – 1996. – 29 – 41 с.
10. Дулькейт І. В., Файзуллін Р. Т. Наближене рішення задачі комівояжера методом рекурсивного побудови допоміжної кривої //Обчислювальні методи в дискретній математиці. Омск. Вид-тво Омського держ. Тех. У-ту. 2009. № 1– 72 – 78 с.
11. Оре О. Графи та їх застосування. – М.: Едиторіал УРСС, Ленанд, 2015. – 208 с.
12. Е.Е. Нечаєв, П.С. Суринт Аналіз організації повітряного руху на аеродромах з низькою інтенсивністю польотів в зарубіжних країнах. Том 20, № 04, 2017 Навчальний посібник МГТУ ГА Стр. 64-67.
13. Нечаєв Е.Е., Лазарєв А.И. Диспетчерське обслуговування повітряного руху на дистанційно керованому // Навчальний посібник МГТУ ГА. 2015. № 214. Стр. 131–136.
14. ICAO Doc 4444 - ATM - AirTrafficManagement
15. ICAO Annex 1 - PersonnelLicensing
16. ICAO Annex 2 - RulesoftheAir
17. ICAO Annex 3 - MeteorologicalServiceforInternationalAirNavigation
18. ICAO Annex 10 - AeronauticalTelecommunications
19. ICAO Annex 11 - AirTrafficServices
20. ICAO Annex 12 - SearchandRescue
21. ICAO Annex 15 - AeronauticalInformationServices
22. European ATM Master Plan, Edition 2 [Text] // SESAR Joint Undertaking. – Luxembourg, 2012. – 29 p.
23. European ATM Master Plan, Executive View, Edition 2015 [Text] // SESAR Joint Undertaking. – Luxembourg, 2015. – 33-37 p.
24. European ATM Master Plan, Executive View, Edition 2015 [Image] // SESAR Joint Undertaking. – Luxembourg, 2015. – 38 p.
25. Guillermet, F. The level of cooperation has been unprecedented [Text] / F. Guillermet // Skyway Magazine. – 2017. – Vol. 66. – p. 55
26. Local Single Sky Implementation (LSSIP) 2017 – Ukraine, Level 1 – Implementation Overview [Text] // EUROCONTROL. – Brussels, 2017. – 8-9 p.
27. UkSATSE Mission & Tasks – Режим доступу: 30.11.18/ http://uksatse.ua/index.php?act=Part&CODE=203
28. Local Single Sky Implementation (LSSIP) 2017 – Ukraine, Level 1 – Implementation Overview [Text] // EUROCONTROL. – Brussels, 2017. – 12-16 p.
29. EUROCONTROL seven-year forecast February 2018 [Text] // EUROCONTROL. – Brussels, 2017. – 66 p.
30. Local Single Sky Implementation (LSSIP) 2017 – Ukraine, Level 1 – Implementation Overview [Text] // EUROCONTROL. – Brussels, 2017. – 35-49 p.
31. UkSATSE – Analysis of ATM/CNS Infrastructure Modernisation Plan 15.12.2018 /http://www.ebrd.com/cs/Satellite?c=Content&cid=1395265573024&pagename=EBRD%2FContent%2FContentLayout&rendermode=live%3Fsrch-pg
32. SESAR Solutions Catalogue, Second Edition [Text] // SESAR Joint Undertaking. – Luxembourg, 2017. – 74 p.
33. SESAR Solutions Catalogue, Second Edition [Text] // SESAR Joint Undertaking. – Luxembourg, 2017. – 42 p.
34. SESAR Solutions Catalogue, Second Edition [Text] // SESAR Joint Undertaking. – Luxembourg, 2017. – 59 p.
35. SESAR Solutions Catalogue, Second Edition [Text] // SESAR Joint Undertaking. – Luxembourg, 2017. – 87-90 p.
36. <https://www.euronews.com/2019/02/11/sesar-programme-changing-the-skies-of-the-europe>
37. <https://twitter.com/SESAR_JU/status/797045568396820480>
38. <https://www.internationalairportreview.com/article/79132/changing-the-face-of-air-traffic-management-for-the-better/>
39. <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/SESAR_Solutions_Catalogue_2019_web.pdf>
40. <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/sesar-magazine-issue11.pdf>
41. <http://www.tsagi.ru/ncp/sesar/main/>
42. <https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_and_virtual_tower>
43. <https://www.skybrary.aero/index.php/Remote_Tower_Service>
44. <https://saab.com/security/air-traffic-management/digital-tower-solutions/remote-tower/>
45. <https://www.thalesgroup.com/en/remote-tower>
46. <https://indranavia.com/remote-tower/>
47. <https://www.remote-tower.eu/wp/>
48. <https://ec.europa.eu/transport/modes/air/ses/ses-award/winners/multiple-remote-tower-operations_en>
49. <https://trimis.ec.europa.eu/project/advanced-remote-tower>
50. <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2018-05-23/testing-proves-multiple-remote-tower-operations-can-work-europe>
51. <https://www.eurocockpit.be/positions-publications/remote-tower-services>

# ДОДАТОК А

Лістинг програми

import java.util.HashMap;

public class Airport {

private HashMap<String, String> airportData;

private static final String Name = "Name";

private static final String Longitude = "Longitude";

private static final String Latitude = "Latitude";

private static final String Number = "Number";

public static int number = 0;

Airport(String name, float longitude, float latitude) {

airportData = new HashMap<>();

airportData.put(Name, name);

airportData.put(Longitude, ((Float) longitude).toString());

airportData.put(Latitude, ((Float) latitude).toString());

number++;

airportData.put(Number, ((Integer) number).toString());

}

public void setNumber(int numb){

this.airportData.put(Number,((Integer) numb).toString());

}

public String getName() {

return airportData.get(Name);

}

public String getLatitude() {

return airportData.get(Latitude);

}

public String getLongitude() {

return airportData.get(Longitude);

}

@Override

public boolean equals(Object obj) {

if (!(obj instanceof Airport)) {

return false;

}

Airport toCompare = (Airport) obj;

return airportData.get(Name).equals(toCompare.getName());

}

@Override

public String toString() {

return "Аеропорт №" + airportData.get(Number) + "\nНазва: " + airportData.get(Name) + "\nКоординати: "

+ airportData.get(Latitude) + "; " + airportData.get(Longitude) + "\n\n";

}

}

import java.util.\*;

public class Automat {

public static ArrayList<Airport> readData() {

Scanner scn = new Scanner(System.in);

ArrayList<Airport> airports = new ArrayList<>();

while (true) {

System.out.println("Введіть назву аеропорту:");

String name;

while (true) {

try {

name = scn.nextLine();

if (name.length() == 0) {

throw new IllegalArgumentException();

}

break;

} catch (IllegalArgumentException e) {

System.out.println("Неправильний формат вводу. Будь ласка, спробуйте ще раз:");

}

}

System.out.println("Введіть довготу аеропорту:");

float longtitudeValue;

while (true) {

try {

longtitudeValue = Float.parseFloat(scn.nextLine());

break;

} catch (NumberFormatException e) {

System.out.println("Неправильний формат вводу. Будь ласка, спробуйте ще раз:");

}

}

System.out.println("Введіть широту аеропорту:");

float latitude;

while (true) {

try {

latitude = Float.parseFloat(scn.nextLine());

break;

} catch (NumberFormatException e) {

System.out.println("Неправильний формат вводу. Будь ласка, спробуйте ще раз:");

}

}

Airport lastAirport = new Airport(name, longtitudeValue, latitude);

if (airports.contains(lastAirport)) {

Airport.number--;

System.out.println("Аеропорт з назвою " + name + " уже наявний у системі");

} else {

airports.add(lastAirport);

}

import java.util.\*;

public class Neighbours {

private TreeMap<Double, String> distanceData;

private HashMap<String, TreeMap> neighbourData;

private HashMap<String, String> neighbourName;

private static final String Name = "Name";

private static final String Distance = "Distance";

Neighbours(Airport airport, ArrayList<Airport> airports) {

distanceData = new TreeMap<>();

neighbourData = new HashMap<>();

neighbourName = new HashMap<>();

for (Airport neighbour : airports) {

double distance = Math.sqrt(Math.pow(Double.parseDouble(airport.getLatitude()) - Double.parseDouble(neighbour.getLatitude()), 2) +

Math.pow(Double.parseDouble(airport.getLongitude()) - Double.parseDouble(neighbour.getLongitude()), 2));

distanceData.put(distance, neighbour.getName());

}

distanceData.remove(distanceData.firstKey());

neighbourData.put(Distance, distanceData);

neighbourName.put(Name, airport.getName());

}

public String getName() {

return neighbourName.get(Name);

}

public static String myText(Neighbours distancer) {

int i = 0;

StringBuffer temporary = new StringBuffer();

TreeMap tempor = distancer.neighbourData.get(Distance);

if (tempor.isEmpty()) {

return "Сусіди відсутні";

}

for (Object pair : tempor.entrySet()) {

i++;

temporary.insert(temporary.length(), i + ")" + pair + "\n");

if (i == 3) {

break;

}

}

return "Найближчі сусіди до аеропорту " + distancer.getName() + ":\n" + temporary;

}

public static HashMap<String, Integer> mostCommonNeighbours(ArrayList<Neighbours> neighbourList) {

HashMap<String, Integer> frequency = new HashMap<>();

for (Neighbours neighbours : neighbourList) {

frequency.put(neighbours.getName(), 0);

}

for (Neighbours neighbours : neighbourList) {

int i = 0;

TreeMap<String, String> temporary = neighbours.neighbourData.get(Distance);

for (String nearestNeighbours : temporary.values()) {

frequency.put(nearestNeighbours, frequency.get(nearestNeighbours) + 1);

i++;

if (i >= 3) {

break;

}

}

}

return frequency;

}

public static HashMap<String, String> frequencyList(HashMap<String, Integer> frequency) {

HashMap<String, String> suchFrequency = new HashMap<>();

int tempor = Collections.max(frequency.values());

for (int i = 0; i <= tempor; i++) {

StringBuffer temporary = new StringBuffer();

temporary.insert(0, i);

StringBuffer temporary2 = new StringBuffer();

for (Map.Entry<String, Integer> j : frequency.entrySet()) {

if (i == j.getValue()) {

temporary2.insert(temporary2.length(), j.getKey() + "; ");

}

}

suchFrequency.put(temporary.toString(), temporary2.toString());

}

return suchFrequency;

}

public static void remoteTower(HashMap<String, Integer> frequency, ArrayList<Airport> airports) {

int maximum = Collections.max(frequency.values());

int minimum = Collections.min(frequency.values());

int medium = 4; //Нижня границя частоти класу завжди однакова(якщо аеропортів >=4)

if (frequency.keySet().size() < 3) { //Ситуація, в якій немає сенсу шукати кандидатів для розміщення Remote tower

System.out.println("Кандидати на remote tower відсутні.");

} else {

if (frequency.keySet().size() >= 3) { //Шукаємо кандидатів для розміщення Remote tower

System.out.println("\nМінімальна частота появи: " + minimum + "\nНижня границя класу: " + medium + "\nМаксимальна частота появи: " + maximum);

System.out.println("\nКандидати для розміщення remote tower:");

}

int temporary = 0;

for (Map.Entry<String, Integer> freq : frequency.entrySet()) {

if (freq.getValue() >= medium) {

String cordinates[] = new String[2];

for (Airport airport : airports) {

if (airport.getName() == freq.getKey()) {

cordinates[0] = airport.getLongitude();

cordinates[1] = airport.getLatitude();

}

}

temporary++;

System.out.println(temporary + ") " + freq.getKey() + " з координатами " + cordinates[0] + ' ' + cordinates[1] + " та частотою появи " + freq.getValue());

}

}

}

Scanner scn = new Scanner(System.in);

System.out.println("Введіть кількість точок remote tower");

int amount;

while (true) {

try {

amount = Integer.parseInt(scn.nextLine());

break;

} catch (NumberFormatException e) {

System.out.println("Неправильний формат вводу. Будь ласка, спробуйте ще раз:");

}

}

ArrayList<Airport> unusedAirports = airports;

HashMap<Integer, ArrayList<Airport>> conectedAirports = new HashMap<>();

int[] airportNumbers={unusedAirports.size()+1};

for (int i = 1; i <= amount; i++) {

while (max(airportNumbers)>unusedAirports.size()) {

System.out.println("Введіть номери аеропортів які ми підключаємо до " + i + " remote tower");

System.out.println(unusedAirports);

airportNumbers = Arrays.stream(scn.nextLine().split(" ")).mapToInt(Integer::parseInt).toArray();

}

ArrayList<Airport> temporary = new ArrayList<>();

for (int j : airportNumbers) {

temporary.add(airports.get(j - 1));

}

for (Airport j : temporary) {

unusedAirports.remove(j);

}

conectedAirports.put(i, temporary);

if (unusedAirports.size() == 0) {

break;

}

int k = 0;

for (Airport j : unusedAirports) {

k++;

j.setNumber(k);

}

}

if (unusedAirports.size()!=0) {

conectedAirports.put(conectedAirports.size(), unusedAirports);

}

for (Map.Entry<Integer, ArrayList<Airport>> i : conectedAirports.entrySet()) {

System.out.println("Координати remote tower " + i.getKey());

int longitude = 0;

int latitude = 0;

for (Airport j : i.getValue()) {

latitude += Double.parseDouble(j.getLatitude());

longitude += Double.parseDouble(j.getLongitude());

}

double mediumLongitude = longitude / ((double) i.getValue().size());

double mediumLatitude = latitude / ((double) i.getValue().size());

System.out.println("Широта:"+mediumLatitude+"\nДовгота:"+mediumLongitude);

}

}

public static int max(int[] tempor){

int maximum=tempor[0];

for (int i:tempor){

if (maximum<i){

maximum=i;

}

}

return maximum;

}

}