



ИКОНОМИЧЕСКА ЕФЕКТИВНОСТ НА ВЪЗДУШНИЯ ТРАФИК: ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ НА УПРАВЛЕНИЕТО НА ВЪЗДУШНОТО ДВИЖЕНИЕ

Иван Траянов Йорданов
ivan.yordanov@unwe.bg

*Университет за национално и световно стопанство
София, Студентски район, ул. „8-ми декември“ №19
БЪЛГАРИЯ*

Резюме: Производителността на системите за управление на въздушното движение (УВД) играе решаваща роля за икономическата и екологичната устойчивост на авиацията. Тъй като търсенето на въздушно пространство продължава да расте, много европейски региони, включително българският FIR София, са изправени пред нарастващи предизвикателства, свързани с фрагментация, претоварване и остаряла инфраструктура. Тези проблеми не само повишават оперативните разходи, но и допринасят за закъснения и увеличени емисии, подкопавайки както качеството на обслужване, така и екологичните цели.

Този доклад изследва концепцията за икономическа ефективност в сектора на въздушния транспорт, като се фокусира върху това как оптимизацията на УВД може да намали разходите, да подобри капацитета и да подпомогне дългосрочната устойчивост. Ключови показатели за ефективност – като дължина на маршрута, проценти на закъснения и пропускателна способност – се анализират в контекста на настоящите практики, като се обръща специално внимание на ограниченията, наложени от остарелите системи и неkoordinираните национални процедури.

Анализът подчертава няколко практически възможности за подобрене, включително внедряването на свободно маршрутно въздушно пространство, интегрирането на инструменти за подпомагане на вземането на решения, базирани на изкуствен интелект, и внедряването на 4D траекторни системи. Освен това, той разглежда значението на структурните реформи, като например функционалните блокове въздушно пространство, и ролята на човешкия опит в адаптирането към новите технологии и процедури.

Констатациите показват, че многоизмерният подход – комбиниращ модернизация на инфраструктурата, трансгранично сътрудничество и развитие на работната сила – е от съществено значение за постигането на по-адаптивна, рентабилна и екологично съобразена рамка за УВД. Продължаващото сътрудничество между регулаторните органи, доставчиците на аеронавигационно обслужване (ANSP) и международните организации ще бъде ключово за гарантиране, че европейското въздушно пространство може да отговори на изискванията на авиационния пейзаж на утрешния ден.

Ключови думи: Интелигентни транспортни системи (ITS), SESAR, управление на въздушното движение, операции, базирани на траектория, динамично управление на въздушното пространство

1. УВОД

Въздушният транспорт се е превърнал в ключов компонент на глобалната мобилност, подпомагащ търговията, туризма и по-широкия икономически обмен на стоки и услуги. В европейския контекст значението му е особено важно, тъй като той обслужва не само гъсто населени градски райони, но и отдалечените такива, като по този начин насърчава свързаността. В страни като България авиацията играе стратегическа роля в свързването на националните пазари с европейски и световни дестинации, като допринася пряко и косвено за устойчивото икономическо развитие и заетостта.

Въпреки това, с нарастването на обема на трафика и увеличаването на изискванията за капацитет и точност, ефективността на управлението на въздушното движение се превърна в критичен проблем. Закъсненията, разхищението на гориво поради неоптимални маршрути и фрагментираните структури на въздушното пространство продължават да представляват предизвикателства за устойчиви и ефективни операции. Тази неефективност засяга както авиокомпаниите, така и пътниците и доставчиците на услуги, като повишава както финансовите, така и екологичните разходи.

Целта на настоящия доклад е да се разгледа концепцията за икономическа ефективност в контекста на въздушния трафик, като се обърне специално внимание на оптимизацията на системите за управление на въздушното движение. В него ще бъдат разгледани съществуващите предизвикателства, технологичните постижения и политическите рамки, като същевременно ще бъдат предложени потенциални подобрения, които могат да повишат оперативната ефективност. Анализът ще се основава както на европейската, така и на националната перспектива.

2. ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ НА ИКОНОМИЧЕСКАТА ЕФЕКТИВНОСТ ВЪВ ВЪЗДУШНИЯ ТРАНСПОРТ

Икономическата ефективност във въздушния транспорт се отнася до оптималното използване на наличните ресурси за постигане на възможно най-висок резултат с минимални разходи, като същевременно се поддържат безопасността, надеждността и качеството на услугите. В авиационния сектор тази концепция е тясно свързана с баланса между оперативния капацитет и търсенето на въздушно пространство, летищни слотове и обслужване на въздушното движение. В този контекст ефективността не се отнася единствено до финансовите резултати; тя включва също така времето, използването на енергия, структурата на въздушното пространство и въздействието върху околната среда.

За оценка на икономическата ефективност на въздушната навигация обикновено се използват няколко основни показателя. Разходната ефективност е един от най-значимите показатели, който обикновено се измерва като разходи за полет или за пропътуван километър. Използването на капацитета се отнася до това, доколко инфраструктурата или сектори на въздушното пространство се използват в проектираните и предвидените лимити. Показателите за закъсненията, както по маршрута, така и на земята, служат като пряко отражение на неефективността, като оказват влияние върху потреблението на гориво и удовлетвореността на пътниците на авиокомпаниите. Пропускателната способност, или обемът на обработените въздухоплавателни средства в рамките на даден период от време, помага да се оцени устойчивостта и адаптивността на системата при различни нива на натовареност.

Управлението на въздушното движение (УВД) играе ключова роля за формирането на тези резултати. За разлика от други транспортни сектори, авиацията работи в триизмерна, динамична среда със строги регулаторни ограничения и ограничения за безопасност. УВД трябва не само да подрежда, поддържа безопасен поток въздушно движение, но и да управлява непредсказуеми променливи, като например времето, рязкото увеличаване на трафика в пикови моменти и резервирането на въздушното пространство от военни ползватели. В резултат на това неефективността на УВД - независимо дали е причинена от фрагментирано въздушно пространство за контрол или остарели процедури - има пряко въздействие върху икономическите резултати на целия сектор.

За да се справят с тези структурни ограничения, бяха стартирани различни международни програми. Инициативата „Единно европейско небе“ (ЕЕН) например има за цел да обедини и модернизира европейското въздушно пространство, за да премахне неефективността, свързана с историческото му разделение по национални граници. SESAR (Single European Sky ATM Research) я допълва, като разработва модерни технологии и концепции в подкрепа на УВД от следващо поколение (Николова, 2017а). Междувременно EUROCONTROL действа като координиращ орган, предоставяйки данни в реално време, прогнози и критерии за ефективност за региона. Тези усилия не са само технически; те се коренят в идеята, че една по-интегрирана и оптимизирана система за УВД може да намали разходите, да намали емисиите и да отговори по-добре на нарастващото търсене на въздушни превози.

С разбирането на тези теоретични основи става по-лесно да се оценят настоящите системи и да се предложат промени, които са в съответствие с по-широките икономически, оперативни и екологични цели.

3. СЪСТОЯНИЕ И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА В УПРАВЛЕНИЕТО НА ВЪЗДУШНОТО ДВИЖЕНИЕ

Управлението на въздушното движение в Европа се осъществява в изключително сложна и регулирана среда, в която националните доставчици на аеронавигационно обслужване (ДАНО) са отговорни за поддържането на безопасността и потока във все по-натовареното небе. Макар че главната цел за безопасно и организирано движение на въздухоплавателните средства остава непроменена, инструментите и системите, използвани за постигането ѝ, са се развили значително през последните десетилетия. Днешното УВД разчита в голяма степен на радарно наблюдение, сателитна навигация, комуникационни мрежи, секторно въздушно пространство и усъвършенствани системи за обработка на полетните данни.

В европейския контекст съчетанието от дефрагментирано въздушно пространство и различни национални практики доведе до значителна неефективност. Въздушното пространство продължава да бъде разделено по държавни граници, което води до нехармонизирани процедури, непоследователни стандарти за разделяне и дублиращи се системи. Въпреки че съществува координационни практики чрез EUROCONTROL и съвместни проекти в рамките на инициативата „Единно европейско небе“, интеграцията на системите за УВД остава непълна.

В България обслужването на въздушното движение се извършва от ДП РВД, което управлява района за полетна информация (FIR) в София. Този FIR обхваща значителна част от Балканския полуостров и служи като ключов транзитен коридор между Европа, Близкия изток и Азия. През последните години BULATSA инвестира в модернизирани на инфраструктурата си, внедрявайки съвременни системи за УВД и участвайки в регионални инициативи като DANUBE FAB (Functional Airspace Block) (Николова, 2017б). Въпреки това продължават да съществуват предизвикателства - особено в периодите на голям сезонен трафик - поради ограничената гъвкавост на маршрутите и структурните ограничения, наложени от околните региони за полетна информация (FIR).

Един от най-наболелите проблеми в Европа е разпокъсаността на въздушното пространство. Това разделение пречи на въздухоплавателните средства да летят по оптимални маршрути, което води до удължаване на полетните трасета, увеличаване на разхода на гориво и закъснения, които могат да бъдат избегнати. Неефективното маршрутизиране също така ограничава способността на доставчиците на аеронавигационно обслужване да се адаптират динамично към метеорологични смущения, затваряне на въздушно пространство или внезапно нарастване на трафика.

Друго предизвикателство са задръстванията, особено в натоварените сектори за контрол или на големите летища. Някои сектори на въздушното пространство се претоварват, което налага изкуствено ограничаване обема на въздухоплавателни средства или пренасочване на въздухоплавателните средства към по-малко натоварени коридори - мерки, които, макар и необходими за безопасността, често увеличават както прелетяното разстояние, така и разхода на гориво. За авиокомпаниите това се изразява пряко в по-високи оперативни разходи и по-ограничени маржове при планиране. За пътниците това често означава по-дълго време за полет, пропуснати връзки и ненадеждни слотове за пристигане.

Удължените маршрути и слотовото задържане увеличават въглеродните емисии в момент, когато авиационната индустрия е подложена на значителен натиск за намаляване на въглеродните емисии. Невъзможността да се осигурят по-директни и гъвкави траектории подкопава усилията за климатична неутралност и устойчиво развитие на авиацията.

В обобщение, въпреки че Европа е постигнала напредък в модернизиранието на своите системи за УВД, основните структурни проблеми остават. Фрагментираното въздушно пространство, неравномерното възприемане на технологиите и недостатъчната координация продължават да ограничават пълното реализиране на едно безпроблемно, ефективно и отговорно към околната среда въздушно пространство. Решаването на тези предизвикателства

ще изисква постоянни и съвместни усилия отвъд националните граници, ръководени от общи цели по отношение на безопасността, ефективността и устойчивостта.

4. ИКОНОМИЧЕСКИ АСПЕКТИ НА ОПТИМИЗАЦИЯТА

Оптимизирането на системите за управление на въздушното движение има пряко и измеримо въздействие върху икономическите резултати както на доставчиците на аеронавигационно обслужване, така и на авиокомпаниите. Чрез подобряване на координацията, повишаване на гъвкавостта на маршрутите и намаляване на неефективността при проектирането на въздушното пространство и потока на трафика, общите разходи за експлоатация могат да бъдат значително намалени - без да се прави компромис с безопасността или качеството на услугите.

Една от основните икономически ползи от оптимизацията на АТМ е намаляването на оперативните разходи. По-директното маршрутизиране съкращава полетните трасета, което води до по-нисък разход на гориво и по-малко нальот. Тъй като горивото представлява един от най-големите разходни компоненти за авиокомпаниите, дори незначителни подобрения в ефективността на маршрутите могат да доведат до значителни икономии. Освен това оптимизираното въздушно пространство позволява по-добро разпределение на работното натоварване между ръководител полетите, което намалява необходимостта от излишен персонал или прекомерно много извънреден труд.

Закъсненията, както на земята, така и във въздуха, също водят до големи икономически загуби. Според докладите на Евроконтрол за преглед на ефективността закъсненията на полетите в Европа възлизат на милиарди евро годишно под формата на загубено време, увеличени разходи за поддръжка, пропуснати връзки и нарушени разписания. Усъвършенстваната последователност на движението, подобреното управление на потоците и по-доброто използване на данни в реално време могат значително да намалят тези закъснения. По-специално, въвеждането на системи като разширено управление на пристигането (XMAN) и съвместно вземане на решения (CDM) на летищата показва измерими резултати за намаляване на времето за задържане и подобряване на пропускателната способност.

Друг важен аспект е разширяването на капацитета на системата. Традиционните структури на въздушното пространство разчитат на твърдо разделение по сектори, което не се адаптира добре към променящите се модели на движение. Чрез инициативи като „Въздушно пространство за свободно планиране“ (FRA) и трансгранични функционални блокове въздушно пространство (FAB) капацитетът може да бъде увеличен (Николова, 2017в). Тези подобрения дават възможност за безопасно и ефективно обслужване на по-голям брой въздухоплавателни средства, особено в пиковите часове или в претоварените коридори.

От гледна точка на устойчивото развитие оптимизацията на УВД допринася значително за постигане на екологичните цели. По-кратките и по-ефективни трасета на полетите намаляват емисиите на парникови газове, особено на CO₂. ИКАО и EUROCONTROL многократно са подчертавали, че модернизацията на УВД е един от най-непосредствените и икономически ефективни начини за декарбонизация на въздухоплаването в краткосрочен и средносрочен план. Например, в доклада на Евроконтрол за 2023 г. се оценява, че пълното въвеждане на FRA в цяла Европа може да намали емисиите на CO₂ с до 2,6 милиона тона годишно - еквивалент на премахването на над един милион автомобили от пътята (APBFRAI 2025 Eurocontrol).

След въвеждането на FRA в горните слоеве на въздушното пространство на Централна и Източна Европа няколко държави съобщиха за измеримо намаляване на средната дължина на маршрута и на разхода на гориво. По подобен начин успешното внедряване на технологиите SESAR на летища като Мюнхен, Хийтроу и Виена доведе до подобряване на предвидимостта, намаляване на времето за рулиране и по-ефективни цикли на обръщане.

В обобщение, икономическите аргументи за оптимизиране на управлението на въздушното движение са убедителни. По-ниските разходи, подобрената точност, по-големият капацитет и ползите за околната среда - всичко това прави модернизацията не само технически приоритет, но и стратегически императив за бъдещето на авиацията.

5. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ НА УПРАВЛЕНИЕТО НА ВЪЗДУШНОТО ДВИЖЕНИЕ

Пътят към по-ефективна система за управление на въздушното движение минава през иновациите, структурната реформа и развитието на човешкия ресурс. Макар че в някои части на Европа вече е постигнат напредък, остават значителни възможности за по-нататъшна оптимизация чрез технологични подобрения, интеграция на ИТС (Интелигентни Транспортни Системи), препроектиране на въздушното пространство, организационна интеграция и инвестиции във възможностите на работната сила.

Едно от най-променящите се събития през последните години е въвеждането на въздушно пространство за свободно планиране (FRA). За разлика от традиционните системи за фиксирани маршрути, които ограничават въздухоплавателните средства до предварително определени въздушни пътища, FRA дава възможност на пилотите да избират по-директни траектории между определени входни и изходни точки. Тази гъвкавост намалява дължината на маршрута, разхода на гориво и емисиите, като едновременно с това облекчава натоварването на ръководител полетите. Няколко европейски Региона за полетна информация, включително България, вече са въвели FRA с измерими ползи. Разширяването на тази концепция на целия континент остава основен приоритет за модернизацията на европейското УВД.



Приложение 1: SEE FRA (Въздушно пространство за свободно планиране).

Друга новаторска концепция, която набира популярност, е 4D управлението на траекторията, което включва не само хоризонталното и вертикалното позициониране, но и времето като неразделно измерение на планирането на полета. Позволявайки прецизно синхронизиране на движенията на въздухоплавателните средства, 4D траекториите подпомагат по-добрата предвидимост и управлението на потоците. Когато се интегрира в инструменти като Управление на пристиганията AMAN (XMAN), този подход подобрява ефективността на последователността около претоварени летища, намалява моделите на слотиране и подобрява ефективността на цялата мрежа.

Структурната реформа играе решаваща роля за разгръщането на пълния потенциал на тези технологии. Инициативата „Функционални блокове въздушно пространство“ (ФБВП),

стартирала в рамките на програмата „Единно европейско небе“, има за цел да консолидира услугите по УВД през националните граници, като позволи безпроблемна координация и хармонизирани процедури. Успешни примери като FAB DANUBE - споделен от България и Румъния - показват как трансграничното сътрудничество може да доведе до по-рационално използване на ресурсите и подобряване на оперативната ефективност (Николова, 2017г).

Освен системите и структурите, модернизацията на физическата инфраструктура продължава да бъде от съществено значение. Много радарни и комуникационни системи все още разчитат на остарели платформи с ограничена оперативна съвместимост. Модернизирането на технологиите за наблюдение, разширяването на спътниковата навигация и разполагането на цифрови кули за дистанционно управление на летищата са част от по-широка стратегия за повишаване на устойчивостта на системата за УВД.

В основата на оптимизацията на УВД обаче стои човешкият фактор. Ръководителите на полети остават в основата на безопасните и ефикасни операции и тяхната способност да се адаптират към новите инструменти и процедури е жизненоважна. Непрекъснатото професионално обучение и управление на стреса са от решаващо значение за осигуряване на ефективност в условията на нарастваща сложност. Освен това, с развитието на автоматизацията ролята на ръководителя на полети се променя - от тактически оператор до вземащ стратегически решения - което изисква не само технически умения, но и добра ситуационна осъзнатост.

В обобщение, оптимизирането на управлението на въздушното движение изисква многоизмерен подход. Новите технологии, структурната интеграция, модернизацията на инфраструктурата и развитието на работната сила трябва да се развиват в тандем. Заедно тези усилия могат да осигурят система, която е не само по-ефективна и рентабилна, но и по-безопасна, по-устойчива и по-добре подготвена за предизвикателствата на бъдещата въздушна мобилност.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕПОРЪКИ

Ефективното управление на въздушното движение е жизненоважен компонент на модерна, икономически жизнеспособна и екологично отговорна авиационна система. В настоящия доклад се посочва как икономическата ефективност на въздушното движение зависи от множество взаимосвързани фактори - от технологиите и инфраструктурата до политическите рамки и човешкия опит. Ясно е, че разпокъсаните структури на въздушното пространство, остарелите системи и непоследователните процедури продължават да подкопават ефективността, да повишават оперативните разходи и да ограничават капацитета в цяла Европа, включително в рамките на FIR SOFIA .

Институциите и доставчиците на аеронавигационно обслужване (ДАНО) следва да дадат приоритет на пълното разгръщане на въздушното пространство за свободно планиране, инвестициите в ИТС системи и интегрирането на инструменти за подпомагане на вземането на решения, базирани на изкуствен интелект. Правителствата и регулаторните органи трябва да осигурят устойчиво финансиране за модернизация на инфраструктурата и да подкрепят трансгранични инициативи като функционалните блокове въздушно пространство, които са доказали своята ефективност за повишаване на оперативната съвместимост и намаляване на неефективността.

Също толкова важно е да продължим да развиваме човешкия фактор. Ръководител полетите и техническият персонал трябва да бъдат подпомагани чрез непрекъснато обучение, адаптиране към нови системи и участие в оформянето на оперативните реформи.

Накрая, напредъкът в оптимизацията на УВД не може да бъде постигнат изолирано. От съществено значение е тясното сътрудничество между националните органи, регионалните органи и международните организации - като Евроконтрол, ИКАО и SESAR. Само чрез споделена ангажираност и съвместно планиране секторът може да постигне целите си за безопасност, икономическа ефективност и екологична устойчивост през следващите години.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Assessing the performance benefits of free route airspace implementation 2025 (Report by the Performance Review Commission& Performance Review Body)
- [2]. Official Journal of The European Union, 2004 a. Regulation (EC) No 552/2004 of the European Parliament and of the Council of 10 March 2004 on the interoperability of the European Air Traffic Management network (the interoperability Regulation), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R0552>
- [3]. Official Journal of the European Union, 2004 b Regulation (EC) No 551/2004 of the European Parliament and of the Council of 10 March 2004 on the organisation and use of the airspace in the single European sky (the airspace Regulation). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R0551>
- [4]. Official Journal of the European Union, 2004 c Regulation (EC) No 550/2004 of the European Parliament and of the Council of 10 March 2004 on the provision of air navigation services in the single European sky. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R0550>
- [5]. Official Journal of the European Union, 2004 d .Regulation (EC) No 549/2004 of the European Parliament and of the Council of 10 March 2004 laying down the framework for the creation of the single European sky (the framework Regulation) (Text with EEA relevance) - Statement by the Member States on military issues related to the single European sky, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R0549>
- [6]. Николова, Хр., 2017 а. Интелигентни транспортни системи - политика и практика за внедряване. Издателски комплекс на УНСС, София.
- [7]. Николова, Хр., 2017 б. Приложение на интелигентните транспортни системи за устойчиво развитие на транспорта. Научни трудове на УНСС, том 1/2017, стр. 74 - 109. https://unwe-research-papers.org/uploads/ResearchPapers/Research%20Papers_vol1_2017_No4_H%20Nikolova.pdf
- [8]. Николова, Хр., 2017 в. Въздушният транспорт в България – анализ и оценка на развитието. Издателски комплекс на УНСС, София.
- [9]. Николова, Хр., 2017 г. Приложение на интелигентни транспортни системи във въздушния транспорт. Сп. Механика, транспорт, комуникации, бр. 3/2017 г., стр. 0-20 - 0-25. <https://mtc-aj.com/library/1454.pdf>

ECONOMIC EFFICIENCY OF AIR TRAFFIC: OPPORTUNITIES FOR OPTIMIZATION OF AIR TRAFFIC MANAGEMENT

Ivan Trayanov Yordanov
ivan.yordanov@unwe.bg

University of National and World Economy
19 8th December Str., Sofia
BULGARIA

Abstract: *The performance of air traffic management (ATM) systems plays a decisive role in the economic and environmental sustainability of aviation. As airspace demand continues to grow, many European regions, including Bulgaria's Sofia FIR, are facing mounting challenges related to fragmentation, congestion, and outdated infrastructure. These issues not only raise operational costs but also contribute to delays and increased emissions, undermining both service quality and environmental goals.*

This report explores the concept of economic efficiency within the air transport sector, focusing on how ATM optimization can reduce costs, improve capacity, and support long-term sustainability. Key performance indicators—such as route length, delay rates, and throughput—are analyzed in the context of current practices, with particular attention given to the limitations imposed by legacy systems and uncoordinated national procedures.

The analysis highlights several practical opportunities for improvement, including the deployment of Free Route Airspace, the integration of AI-based decision-support tools, and the implementation of 4D trajectory systems. Additionally, it examines the importance of structural reforms, such as Functional Airspace Blocks, and the role of human expertise in adapting to new technologies and procedures.

Findings suggest that a multidimensional approach—combining infrastructure modernization, cross-border collaboration, and workforce development—is essential to achieve a more responsive, cost-effective, and environmentally aligned ATM framework. Continued cooperation between regulatory authorities, ANSPs, and international organizations will be key in ensuring that European airspace can meet the demands of tomorrow's aviation landscape.

Key words: *Intelligent Transport Systems (ITS), SESAR, air traffic management, trajectory-based operations, dynamic airspace management*