



АВИАЦИЯЛЫҚ ТЕХНИКА ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ
АВИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ
AVIATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY

DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_58
MFTAA 50.01.85

**Т.Б. Керибаева¹, Ө. Тойлыбай¹, А.А. Рысбекова¹, Г.Н. Сейфула¹, А.К. Кошеков¹,
В.К. Тулаев²**

¹Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан

*E-mail: talshyn.keribayeva@agakaz.kz**

E-mail: ozgerishant@mail.ru

E-mail: ainara_18.90@mail.ru

E-mail: gulzhan_nurlankyzy@mail.ru;

E-mail: abai_koshekov@mail.ru

²Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті

«Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», қ. Петропавл, Қазақстан

E-mail: tvk30091949@mail.ru

**АВИАЦИЯНЫҢ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ ЖАҒДАЙЫНДА
ПИЛОТСЫЗ КОММУНИКАЦИЯЛАРДЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН АРТТЫРУ**

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АВИАЦИИ**

**INCREASING THE SECURITY OF UNMANNED COMMUNICATIONS
IN THE CONDITIONS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF AVIATION**

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты – әуеайлақ маңындағы ауаның ластануын және атмосфераның ластануын мониторингтеу жүйесіндегі тәуекелдерді бағалаудың технологиялық және ресми тәсілдерін әзірлеу болып табылады. Ұсынылған мақала аясындағы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер шешіледі: Алматы қаласының әуежайы аймағындағы басқарылатын әуе кеңістігінің геометриялық моделін негіздеу. Геометриялық модель берілген радиусы мен биіктігі бар атмосфералық цилиндр түрінде ұсынылған. Әуежайдағы қоршаған ортаны басқару орталығымен тұрақты радиобайланысы бар ұшқышсыз ұшатын аппараттарды пайдалану негізінде Алматы қаласындағы аэродром атмосферасының сапасын бақылау жүйесінің функционалдық-технологиялық моделі әзірленді. «Цифрлық егіз» форматында аэродром маңындағы атмосфераның ластануының виртуалды-кеңістіктік ақпараттық 3D моделі салынды. Алматы әуежайының бақыланатын аймағындағы ауа сапасын бағалаудың интегралды критерийінің анық емес моделі әзірленді. Алматы әуежайының ауа ортасындағы химиялық қоспалардың концентрациясының детерминирленген және детерминирленбеген стандарттары бойынша аэродром маңындағы ортаның ластануын бақылаудың сенімділігі мен тәуекелдерін сандық бағалау үшін ықтималдық үлгілері әзірленді. Әуеайлақ маңындағы қоршаған ортаның ластануын бақылаудың сенімділігі мен тәуекелдерін сандық бағалау үшін компьютерлік эксперимент жүргізілді.

Түйін сөздер: авиация, цифрлық егіз, тәуекел, бақылау, модель, ықтималдық.

Аннотация. Цель исследования состоит в разработке технологического и формального подходов к оценке загрязнения воздуха в приаэродромной среде и рисков в системе мониторинга загрязнения приаэродромной атмосферы в условиях цифровой трансформации бизнеса авиационной отрасли. Для достижения цели в объеме предлагаемой статье решаются следующие задачи: обоснование геометрической модели контролируемого воздушного

пространства в районе аэропорта г. Алматы. Геометрическая модель представлена в форме атмосферного цилиндра с заданным радиусом и высотой. Разработана функционально-технологическая модель системы мониторинга качества приаэродромной атмосферы г. Алматы на базе использования беспилотных летательных аппаратов с постоянной радиосвязью с центром экологического контроля на территории аэропорта. Построена виртуально-пространственная информационная 3D модель атмосферного загрязнения приаэродромной среды в формате «Цифровой двойник». Разработана нечеткая модель интегрального критерия оценки качества воздуха в контролируемой зоне аэропорта г. Алматы. Разработаны вероятностные модели количественного оценивания достоверности и рисков контроля загрязнения приаэродромной среды при детерминированных и недетерминированных нормативах концентрации химических ингредиентов в воздушной среде аэропорта г. Алматы. Реализован компьютерный эксперимент численного оценивания достоверности и рисков контроля загрязнения приаэродромной среды.

Ключевые слова: авиация, цифровой двойник, риск, контроль, модель, вероятность.

Abstract. The purpose of the study is to develop technological and formal approaches to the assessment of air pollution in the near-aerodrome environment and risks in the system for monitoring pollution of the near-aerodrome atmosphere in the context of the digital transformation of the business of the aviation industry. To achieve the goal in the scope of the proposed article, the following tasks are solved: substantiation of the geometric model of controlled airspace in the area of the airport in Almaty. The geometric model is presented in the form of an atmospheric cylinder with a given radius and height. A functional-technological model of the system for monitoring the quality of the airfield atmosphere in Almaty has been developed based on the use of unmanned aerial vehicles with constant radio communication with the environmental control center at the airport. A virtual-spatial information 3D model of atmospheric pollution near the aerodrome environment was built in the "Digital Twin" format. A fuzzy model of an integral criterion for assessing air quality in the controlled area of the Almaty airport has been developed. Probabilistic models have been developed for quantitative assessment of the reliability and risks of pollution control of the near-airfield environment under deterministic and non-deterministic standards for the concentration of chemical ingredients in the air environment of the Almaty airport. A computer experiment has been implemented for numerical estimation of the reliability and risks of pollution control of the near-aerodrome environment.

Keywords: aviation, digital twin, risk, control, model, probability.

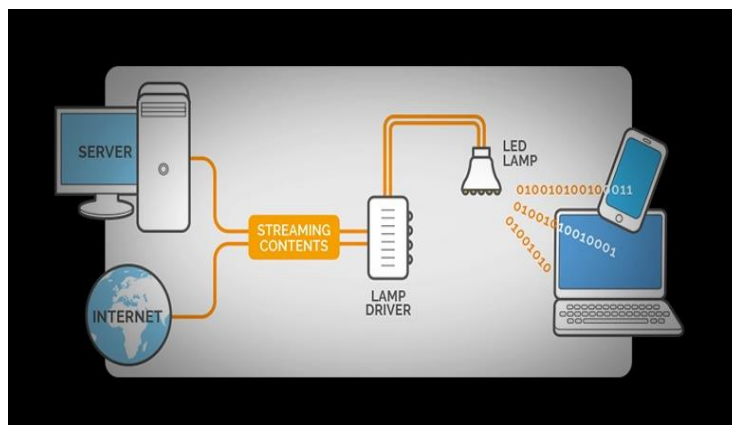
Кіріспе. Зерттелетін мәселе бойынша жұмыстарға әдеби шолу, жаңа цифрлық парадигма «цифрлық трансформация» деп аталатын революциялық технологиялық тәсілді ұсынатынын көрсетеді [1]. Цифрлық трансформация функционалдық деңгейде де, технологиялық деңгейде де дәстүрлі анықталмаған – цифрландырудан әлі нақты контурлар мен айырмашылықтарға ие болған жоқ. Цифрлық трансформацияны білдіретін жинақталған цифрлық технологиялар тізбесі мыналарды қамтуы керек: «Нейротехнологиялар және жасанды интеллект»; «Жаңа өндіріс технологиялары»; «Робототехника және сенсорлардың құрамдас бөліктері»; «Сымсыз байланыс технологиялары»; «Цифрлық егіз» және т.б. Бұл тізімді, біздің ойымызша, Li-Fi технологиясы және ұшқышсыз жүйелер сияқты жаңа технологиялармен кеңейтуге болады.

Кең таралған заманауи проблемалардың бірі – Wi-Fi негізіндегі сымсыз байланыс технологиялары үшін елеулі практикалық қауіпке айналған ақпараттық терроризм. Радиоарналардың ақпараттық қауіпсіздігін (электромагниттік қауіпсіздік) жақсартудың және сымсыз жүйелерде деректерді беру сипаттамаларын жақсартудың бір әдісін қазіргі уақытта PureLif компаниясында жұмыс істейтін профессор Харальд Хаас ұсынған [2]. Li-Fi атауы Light Fidelity [3] дегенді білдіреді. Аталған компаниядан басқа, бұл технологияны тәжірибеде мынадай компаниялар табысты алға жылжытуда: OledComm – француздық компания; Velmenni – эстониялық компания және басқалары. Француздық OledComm компаниясы 1000 доллар тұратын Li-Fi чипін жасап шығарды. Velmenni әзірлеген Li-Fi желісі деректерді беру жылдамдығын 1 Гбит/с қамтамасыз етті.

Тағы бір күтпеген және қарқынды дамып келе жатқан технология – ұшқышсыз көліктерді экономиканың әртүрлі салаларында пайдалану. Бұл технологияның негізгі

проблемалары мен кемшіліктері ұшқышсыз көліктерді басқару саласында, әсіресе ұшқышсыз көліктермен байланыс жүйелерінде шоғырланған. Қазіргі уақытта ұшқышсыз ұшу аппараттары жердегі объектілермен радиотолқындардың бөлінген жиілік диапазонындағы радиоарна арқылы байланысады. Бұл арна арқылы пайдалы ақпаратпен қатар, үшінші тараптың жасанды араласуына және басқару процесіне қарсы тұруға мүмкіндік ашылады, мұны бұқаралық ақпарат құралдары мен арнайы әдебиеттердегі көптеген мысалдар дәлелдейді. Бұл мәселенің тиімді шешімі – Li-Fi технологиясын пайдалану.

Әдебиеттік шолу. Li-Fi жұмыс принципі кеңістікті жарықтандыру мен ақпаратты жарық ағыны арқылы беруді біріктіруге негізделген. Жарықтандыру құрылғысы – жарықдиодты шам. Жарық диодты шам шығаратын жарықтың күші ол арқылы өтетін орташа ток мөлшеріне байланысты. Егер жарық диоды арқылы жиілігі 25 Гц-тен жоғары импульстік ток өтсе, онда көз жарық ағынының үзілуін көрмейді және жарықтандыруды тұрақты деп қабылдайды, өйткені көз инерцияға ие. Жарық диодты шам, басқа жарықтандырғыштардан айырмашылығы, Li-Fi технологиясында қолданылатын керемет жылдамдықпен ауыса алады. Коммутация жиілігі радиожүйедегідей модуляция деп аталатын кодталған пішімге ие. Көбінесе импульстік ені модуляциясы (PWM) қолданылады және пайдалы сигналды PWM сигналына түрлендіретін арнайы құрылғылар драйверлер деп аталады [3, 4].

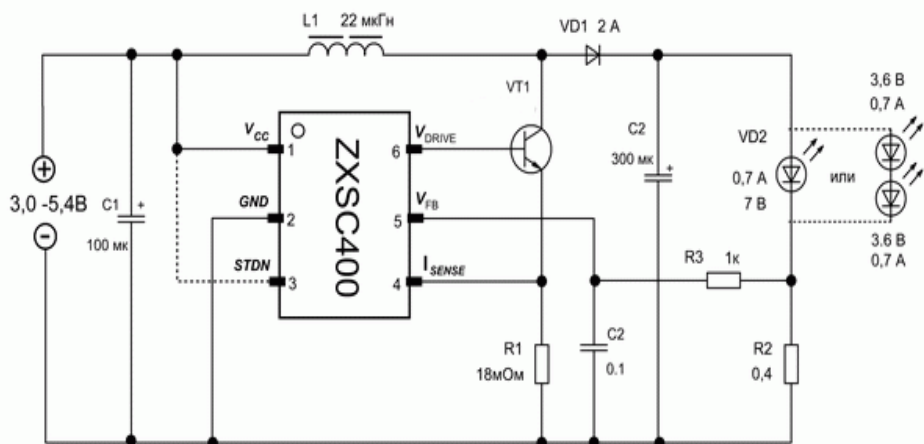


1-сурет. Li-Fi жүйесінің құрылымдық моделі [5]

1-суретте жұмыс істейтін ақпарат көздерінен, мысалы, компьютерден (серверден) немесе Интернеттен алынған цифрлық ақпарат сәйкес блок арқылы драйверге түседі, онда импульстік ені модуляциясы орындалады. Драйвердің кернеуі жарықдиодты шамға беріледі. Ауа арқылы оптикалық кодталған ақпарат фотодетектор арқылы жазылады және арнайы қондырғымен өңделеді [2,3,4]. LTD жарықтандырудың қарқындылығын бақылау процесі күңгірттеу деп аталады [5]. PWM негізінде DMX-512 хаттамасы әзірленді, ол бірнеше басқару құрылғыларын диммерлермен біріктіруге мүмкіндік берді. Мұндай техникалық шешімде жарқыраудың жарықтығы орташа өзгермейді, бірақ оның пайдалы ақпаратты тасымалдайтын ауыспалы бөлігі басқару кернеуінің немесе токтың заңына сәйкес өзгереді.

Диммерлеу опциясы бар драйверлер қазіргі уақытта микросұлба дизайнында қол жетімді Diodes Incorporated кеңейтілген функционалдығы бар ең танымал микросұлбалардың бірі ZXSC400 болып табылады, оның қосылу схемасы 2-суретте көрсетілген [6]. Жоғары ақпараттық қауіпсіздіктен басқа, Wi-Fi-мен салыстырғанда Li-Fi-дың маңызды артықшылығы ақпаратты тасымалдаудың жоғары жылдамдығы болып табылады.

Li-Fi технологиялары әсіресе электромагниттік қауіпсіздікке өте жоғары талаптар қойылатын әскери салада және ақпаратты беру жүйелерінде дамыған. Осы тұрғыда әдебиеттерді талдау мұндай технологиялардың ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдаланатын әуе кеңістігін қоршаған ортаны бақылау жүйелерінде өте үлкен перспективалары бар екенін көрсетті. Атмосфераның техногендік ластануын бақылаудың геожүйелік тәсілінде іргелі және қолданбалы зерттеулерге негізделген инновациялық цифрлық технологияларды белсенді пайдалану байқалады.



2-сурет. Жарық диодты драйвер тізбегі [6]

Ескерту – сурет дереккөз негізінде құрастырылған [6]

Урбанизацияланған аймақтарда атмосфераның деңгейі және құрамдас физика-химиялық құрамы бойынша ластануы айқын жергілікті сипатқа ие. Қоршаған ортаны бақылау сапасын басқару процестерінің цифрлық трансформациясы жағдайында ғылыми ойдың заманауи тенденцияларына сәйкес келетін оның жаһандық үлгілерін құру үшін қоршаған әлемді виртуалдандыру идеялары бар. Соңғы онжылдықтағы зерттеулерде осы бағыттағы экологиялық инновациялардың цифрлық трансформациясын қарастыру өнімді болып саналады. Бұл тәсіл көптеген елдердің мемлекеттік даму құжаттарында қолдау тауып, көрсетілген, олардың бірі 2030 жылға дейін қоршаған ортаның мониторингі саласындағы ғылыми бағыт болып табылады. Экология саласындағы цифрлық трансформация жасанды интеллект технологияларына сүйенуді, пайдалануды көздейді. Ұшқышсыз көліктердің, нақты уақыт жағдайында жерді қашықтықтан зондау жүйелері, үлкен деректердің экологиялық жүйелерінде қалыптасуы және жұмыс істеуі, «цифрлық егіздер» (Digital Twins) технологиясын қолданады [7, 8, 9, 10]. Қолданбалы контексте нысанның цифрлық егізі оның нақты ақпараттық процесспен байланысты математикалық моделі болып табылады. Цифрландыруды алмастыратын цифрлық трансформация адам қызметінің барлық салаларындағы цифрлық революция деп аталады, ол инновациялық цифрлық технологиялар үшін интеграциялық база болып табылатын геокеңістіктік деректердің орасан зор көлемін жасауға әкеледі.

Әскери саланы есептегенде, аталған цифрлық технологиялар мен олардың практикалық қолдануларының ішінде мамандар экологиялық салада «цифрлық егіздердің» қолданылуына ерекше қызығушылық танытуда. Бұл ғылыми-практикалық салада екі тәсіл ұсынылады: технологиялық және тұжырымдамалық. Қоршаған ортаны бақылауда ауа сапасының цифрлық егізі нақты атмосфералық үш өлшемді объектімен байланысты

математикалық модель ретінде ұсынылған. Қолданбалы деңгейде «цифрлық егіз» «күй динамикасы толық математикалық модельденген және оның барлық маңызды көрсеткіштері цифрланған, объектінің барлық ықтимал болжамды күйлерін есептейтін сәйкес модельдер құрастырылған процесті немесе объектіні белгілейді» [8].

Цифрлық егіз технологиялардағы негізгі мәселелердің бірі – нақты объектінің техникалық-экономикалық жағдайы туралы алғашқы ақпаратты жинау және бақылау режимінде осы цифрлық өрісті немесе цифрлық нүктелер бұлтын кезеңді түрде жаңартып отыру [9,10]. Ол үшін әртүрлі сенсорлар қолданылады [11]. Әрбір нүкте бақылаудағы қоршаған ортаның ластану параметрлерінің сараптамалық негізделген өлшеу нәтижелерінің ақпараттық тасымалдаушысы болып табылады. [12] және Халықаралық Азаматтық авиация ұйымы (ХААҰ) стандарттарында ауаның ластануының келесі көрсеткіштерін олардың адам ағзасына әсерін ескере отырып бақылау ұсынылады: CO, CO₂, NO, NO₂, SO₂, H₂S, O₃ NH₃ және бөлшектер.

Атмосфераның қатты ластануы бар өнеркәсіптік аймақтардағы ауа ағындарының динамикасын зерттеу процесі әртүрлі биіктіктегі ластану қарқындылығының стационарлы емес екенін көрсетті, бұл ластану деңгейін бақылауды, ластануды физикалық көрсеткіштер бойынша болжау мен саралауды өте қиындатады. және ластанудың химиялық ингредиенттері. қабат 200-300 м қадамы 5-10 м. Бұл жұмысты ұшқышсыз ұшу аппаратынсыз орындау мүмкін емес.

Зерттеу әдістері. Мақала формальды платформаға негізделген теориялық зерттеулерден және нақты массалық динамикалық процестерді эксперименттік зерттеулерден тұрады. Зерттелетін процестерді формализациялау үшін бөлімдер мен аппараттар ретінде ықтималдықтар теориясы және математикалық статистика, имитациялық модельдеу, анық емес жиындар теориясы, сараптамалық бағалау әдістері, агентке негізделген тәсіл пайдаланылды. Эксперименттік мәліметтерді өңдеу үшін математикалық статистика аппараты және Statistica кәсіби бағдарламалық пакеті пайдаланылды. Зерттеудің соңғы кезеңінде теориялық алғышарттардың нақты объектілерді пайдалану саласындағы практикалық деректерге сәйкестігіне баға берілді. Нақты зерттеу саласы ретінде аэродром маңындағы қоршаған ортаның экологиялық мониторингі процесі таңдалды. Зерттеудегі контекстік функционалды бақылау процесі қарастырылды.

Зерттеу нәтижелері. Теориялық зерттеудің мақсаты – авиациялық индустрия бизнесінің цифрлық трансформациясы жағдайында аэродромның ластануын бақылау жүйесіндегі сенімділік пен тәуекелдерді бағалаудың ресми тәсілін әзірлеу болып табылады. Теориялық болжамдардың нақты деректерге сәйкестігін бағалау компьютерлік эксперимент арқылы жүзеге асырылды.

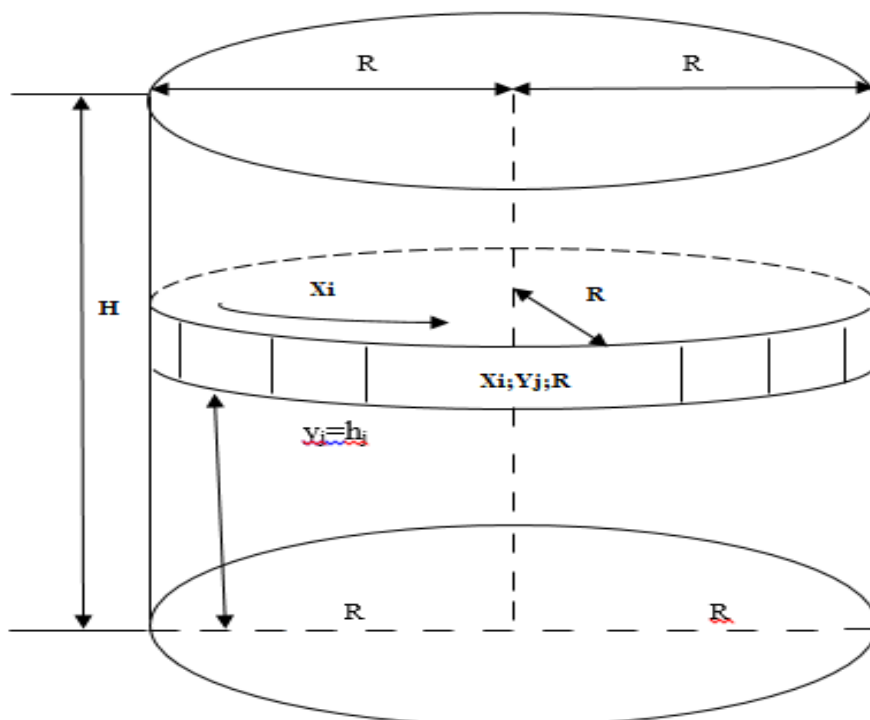
Қойылған мақсатқа жету үшін ұсынылып отырған мақала аясында келесі міндеттер шешілді: Алматы қаласы әуежайы аймағындағы басқарылатын әуе кеңістігінің геометриялық үлгісін негіздеу; Алматы қаласындағы аэродром атмосферасының сапасын бақылау жүйесінің функционалдық-технологиялық моделін әзірлеу; әуеайлақ ортасының жанында атмосфераның ластануының виртуалды-кеңістіктік 3D моделін құру; «Digital Twin» форматында әуеайлақ маңындағы қоршаған ортаның кеңістіктік ластануын бақылау нәтижелерінің ақпараттық моделін әзірлеу; әуеайлақ маңындағы ауаның ластануын бақылаудың ресми үлгілерін әзірлеу және бақылау тәуекелдерін болжау.

Зерттелетін пәндік салада келесі технологиялар ең үлкен ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады: «Цифрлық егіз», «Виртуалды және толықтырылған шындық технологиялары», «VLC технологиялары».

Әуеайлақ кеңістігіндегі ластанудың жекелеген химиялық ингредиенттерінің концентрациясын өлшеу үшін көптеген зерттеулер көрсеткендей, әртүрлі физикалық

принциптерге негізделген сенсорлар қолданылады. Кеңістіктік модельдің әртүрлі нүктелерінде бақылау және өлшеу операцияларын жүргізу әрқашан техникалық және технологиялық тұрғыдан мүмкін бола бермейді, сондықтан бұл зерттеуде қажетті датчиктермен, басқарудың техникалық құралдарымен және байланыс құралдарымен жабдықталған ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану ұсынылады.

Зерттелетін кеңістіктің 3D модельдерімен жұмыс істеудің бірінші міндеті – зерттелетін объектінің геометриялық пішінін негіздеу болады. Ластану ингредиенттерінің кеңістіктегі концентрациясы мен аумақтық таралуының нақты физикалық моделінің айқын геометриялық пішіні жоқ, бұл басқару нүктелерін таңдау мәселесін тудырады, ұшқышсыз көліктің ұшу жолын басқару процесін айтарлықтай қиындатады және басқарудың күрделілігін арттырады. Ұшқышсыз көлікті пайдалану бұл мәселені шешуді айтарлықтай жеңілдетеді және көлденең басқару жазықтығында да, кеңістіктік модельдің тік бөлігінде де басқарудың дайындығын жақсартады. Мұндай қолданбада ұшқышсыз көлікті пайдалану мүлдем жаңа перспективаларды ашады. Бұл құрылғыларды бақылау жүйесінде кеңістіктік позициялаудың бірнеше режимдерінде қолдануға болады: қолмен басқару режимі; бағдарламаны басқарудың автоматтандырылған режимі. Ұшқышсыз басқару режимі белгілі бір жағдайда шешілетін мақсат пен міндеттерге байланысты таңдалады. Талдау және алдын ала есептеулер виртуалды кеңістіктің геометриялық 3D моделі цилиндр түрінде технологиялық тұрғыдан оңтайлы болатынын көрсетті. Цилиндрдің пішіні дронды қолмен басқаруды да, автоматтандырылған бағдарламаланатын режимді де айтарлықтай жеңілдетеді. Содан кейін барлық бастапқы шектеулерді ескере отырып, модель 3-суретте көрсетілгендей виртуалды кеңістіктік-аппараттық атмосфералық «цилиндр» болады.



3-сурет. Атмосфералық ауаның ластануының 3D объектісінің виртуалды кеңістіктік аппараттық моделі

$X_i; Y_j; R$ үш өлшемді нүктесі виртуалды цилиндр көлеміндегі кеңістік координатасы болып табылады. R параметрі цилиндрдің радиусы болып табылады. H параметрі цилиндрдің биіктігі болып табылады. h_j параметрі j -ші көлденең ақпараттық кесіндінің биіктігі. Ауданы $S=2\pi R \times H$ цилиндрдің сыртқы беті цилиндрдің радиалды беті бойымен ластану компоненттерін өлшеу деректерінің екі өлшемді массиві болып табылады. Бұл беттің мәліметтерінің ақпараттық матрицасы келесідей болады (4-сурет).

$\{X_{n,1}\}$	$\{X_{n,2}\}$	$\{X_{n,m}\}$
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
$\{X_{1,1}\}$	$\{X_{1,2}\}$	$\{X_{1,m}\}$

4-сурет. Радиусы R және биіктігі H цилиндрдің радиалды бетіндегі бір атмосфераны ластаушы ингредиент мәндерінің жиыны

Массивтің әрбір элементі $\Delta x = 2\pi R/m$ өрнегі бойынша цилиндрдің бүйір бетінің қандай да бір нүктесінде жеке ластану ингредиентінің өлшеу нәтижесін қамтиды. Цилиндр биіктігі бойынша элементтер саны $\Delta h = H/n$ өрнегінен анықталады. Δx және Δh үлгілерін алу қадамдарын оператор қолмен орнатады. Сынамаларды іріктеу параметрлерінің ең аз мәні ұшқышсыз көлік құралының орналасу дәлдігімен анықталады. Массивтер саны бақыланатын ингредиенттер санымен анықталады, бұл зерттеуде бұл мән $K=8$ тең. Цифрландырудың Δx , Δh және ΔR параметрлерін өзгерту арқылы зерттелетін «цилиндрлер» көлемінде атмосфераның ластануының көлемдік тығыздығының толық моделін 3D-де құруға болатын сияқты. Зерттелетін ауа көлемінің радиусын өзгерту арқылы жалпы көлем бойынша да, цилиндр ішіндегі жекелеген атмосфералық қабаттар бойынша да және сегіз ластаушы құрамдастардың әрқайсысы бойынша ластану таралуының көлемдік динамикасын анықтауға болады. Зерттеу нәтижелері үш өлшемді форматта ұсынылса, зерттелетін экологиялық атмосфералық процестерді талдау сапасы айтарлықтай артады.

Халықаралық Азаматтық авиация ұйымы (ХААҰ) құжаттарында әуесайлақ аумақтарының жалпы (интегралды) ауасының ластануын бағалауға қойылатын талаптар бар. Атмосфералық сапаны бақылау процестерін модельдеу қоршаған ортаны басқару агенттерінің параметрлік анық еместігі және модельдеу деректерінің статистикалық белгісіздігі жағдайында жүзеге асырылатынына байланысты, интегралды жиынтықтар моделін іздеудің математикалық құралы ретінде анық емес жиындар теориясы таңдалды [13].

Ластану ингредиентінің физикалық мәні датчиктер арқылы тіркеледі және бір уақытта ингредиенттің шекті рұқсат етілген концентрацияларына қатысты пайыздық мәнге түрлендіріледі. Пайыз алдын ала өңдеуге өтеді, мұнда анықсыздандыру жүргізіледі, ал лингвистикалық айнымалының анық емес мәні формулалар арқылы анықталады.

$$Q_i = \omega_i [X_{ij} (\alpha_{i1} \times \omega_{ij} + \alpha_{i1+1} \times \omega_{ij+1})]$$

$$K_{\Sigma} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{10}}{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_{10}}$$

мұндағы Q_i – i -ші ластаушы ингредиенттің ағымдағы сандық анық емес нормаланған бағасы;

ω_i – сараптамалық әдіспен анықталған i -ші айнымалының салмағы;

x_{ij} – шекті рұқсат етілген концентрацияларға қатысты пайызбен i -ші айнымалының ағымдағы j -ші мәні.

K_{Σ} – жалпы ластану.

Бақыланатын ауа ортасының сапасының интегралды анық емес бағасы K_{Σ} операциялық нұсқада Алматы қаласының әуежайындағы экологиялық бақылау орталығында белгілі бір кезеңдегі жинақталған деректер бойынша бағаланады.

Келесі міндет – бақылау жүйесіндегі сенімділік пен тәуекелдерге шекті стандарттар статистикалық қасиеттерінің әсерін зерттеу.

Гипотетикалық болжамдар бойынша мәселенің қойылуы келесідей болады: стандарттардың детерминирленбеген (анықталмаған) сипаты жағдайында бақылау тәуекелдерін бағалау және болжау моделін әзірлеу.

Мысал ретінде жұмыста бақыланатын параметрдің қалыпты таралуы, кездейсоқ қатенің қалыпты таралуы және стандартты шаманың «жоғарыдан» шегі бар қалыпты таралуы қарастырылады [14].

Нормативтік шаманың таралу тығыздығының функциясы келесі түрде болады деп болжанады:

$$\theta(S_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_n} e^{-\frac{(S_n - S_{ncp})^2}{2\sigma_n^2}},$$

мұндағы σ_n – нормативтік шаманың таралу заңының стандартты ауытқуы; $S_{порт}$ – стандарттың орташа мәні.

Сонда бақыланатын объектілердің N жалпы санынан i -ші нормативтік мәні бар N_i объектілерінің ықтимал саны болады.

$$N_i = P_i \cdot N = N \int_{S_{ncp} - 3\sigma_n + j\Delta S_n}^{S_{ncp} - 3\sigma_n + (j+1)\Delta S_n} \theta(S) dS,$$

$$\Delta S_n = \frac{3\sigma_n}{m}$$

S_n стандартының i -ші мәні мен S параметрінің j -ші мәні үшін $P_{жа}$ ықтималдылығы келесі формада болады:

$$(P_{ijжа}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{Mi}^{Di} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{3k-j}{k}}^3 e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

$$Mi = \frac{S_{ni} - S_{cp}}{\sigma_s} + \frac{3(j-k)}{k}; \quad Di = \frac{S_{ni} - S_{cp}}{\sigma_s} + \frac{3(j+1-k)}{k};$$

$$\Delta S = \frac{3\sigma_s}{k}$$

S_{ni} шегі үшін жалпы ықтималдық $P_{жа}$:

$$(P_{лб})_i = \sum_{j=0}^k (P_{jлб})_i = \sum_{j=0}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{Mi}^{Di} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{3k-j}{k}}^3 e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

N_i жиынтығындағы жалған ақаудың ықтимал саны:

$$N_{iжа} = N_i (P_{жа})_i$$

N_i жиынтығындағы дұрыс емес ақаулардың ықтимал саны:

$$N_{\text{жа}} = \sum_{i=0}^m N \int_{L_i}^{H_i} \theta(S_n) dS_n \left[\sum_{j=0}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\theta_i}^{\lambda_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{3j}{k}}^3 e^{-\frac{z^2}{2}} dt \right]$$

$$L_i = S_{\text{норт}} - 3\sigma_n + j\Delta S_n; \quad H_i = S_{\text{норт}} - 3\sigma_n + (j+1)\Delta S_n;$$

Анықталмаған ақау нәтижелерінің ықтимал саны:

$$N_{\text{аа}} = \sum_{i=0}^m N \int_{L_i}^{H_i} \theta(S) dS \left[\sum_{j=0}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\theta_i}^{\lambda_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{3j}{k}}^3 e^{-\frac{z^2}{2}} dt \right];$$

$$\theta_i = \frac{S_{\text{ни}} - S_{\text{норт}}}{\sigma_n} + \frac{3j}{k}; \quad \lambda_i = \frac{S_{\text{ни}} - S_{\text{норт}}}{\sigma_n} + \frac{3(j+1)}{k}$$

Нақты жағдайдағы NO₂ мазмұнына заттай эксперименттік зерттеулер Алматы қаласының әуеайлақ аумағында жүргізілді. Өлшеу аппаратурасы жүк көтергіштігі 20 кг болатын ҰҰА-ға орналастырылды. VLC форматындағы деректерді қабылдау және өңдеу жүйесі арнайы көлікке орналастырылды. Жаңа бақылау әдісін қолдана отырып, NO₂ өлшеу нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. NO₂ өлшеу нәтижелері

Биіктік (Ні м)	100 м кадаммен атмосфералық «цилиндрдің» периметрі бойынша і-ші бақыланатын учаскедегі NO ₂ (мг/м ³) мәні (Ij)					
	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6
10	22,3	20,4	20,1	22,1	22,1	21,3
20	18,4	19,1	18,6	19,4	17,4	17,4
30	17,3	16,3	17,8	18,4	18,3	18,3
40	17,8	17,1	17,2	17,2	17,4	17,4
50	16,2	16,8	16,5	16,1	16,6	16,7
60	16,1	16,2	16,2	16,3	16,2	16,4
70	14,8	14,3	14,4	14,4	14,7	14,2
80	14,2	14,1	14,5	14,5	14,7	14,1
100	15,1	15,3	14,3	13,2	15,2	15,6

3-кестедегі мәліметтерді статистикалық өңдеу үшін Statistica 6.0 статистикалық бағдарламалық пакеті пайдаланылды. Статистикалық өңдеу нәтижесінде орташа арифметикалық $X_v = 17,4$ мг/м³ және стандартты ауытқу $S = 1,38$ мг/м³ анықталды. Бөлудің теориялық заңы туралы ең жақын гипотеза – Гаусс заңы.

Статистикалық өңдеу деректерін және бақылау тәуекелдерін есептеу үшін жоғарыда әзірленген бағдарламалық қамтамасыз етуді жүзеге асыратын бағдарламалық қосымшаны пайдалана отырып, анықталмаған ақаудың тәуекел ықтималдығы $P_{\text{аа}} = 0,23$, жалған ақау тәуекелінің ықтималдығы $P_{\text{жа}} = 0,112$ екендігі анықталды.

Эксперименттік және статистикалық зерттеулерге сүйене отырып, бақылау тәуекелдері толықтырылған шындықтың көрсеткіштері болып табылады, өйткені физикалық нақты өлшеу құралдары пайдаланылады, бірақ бүкіл бақылау процесі жұмыс істейді және белгісіздіктерді біріктіреді. Мысалы: бақыланатын параметрдің және өлшеу құралдарының статистикалық қасиеттері, стандартты мәндердің белгісіздігі және шешім қабылдау процесі болып табылады. Өзінің табиғаты мен қалыптасу әдістемесі бойынша детерминирленген мән бола алмайтын стандарттардың белгісіздігін ерекше атап өтуге болады.

Қоршаған орта мониторингінің статистикалық белгісіздігі жағдайында бақылау агенттері арасындағы интегралды тиімді байланысты анықтау үшін компьютерлік эксперимент жүргізілді. Компьютерлік эксперименттің нәтижелері графикалық 3D форматында түсіндіріледі, мұнда аргумент $\sigma_{\text{өлш}}/\sigma_s$ қатынасы түріндегі қате болып табылады (мұнда сөлш – өлшеудің белгісіздігі; σ_s – басқарылатын параметрдің белгісіздігі). Бұл қатынас жоғарғы стандарттың әртүрлі мәндерінде 0,1-ден 1,0-ге дейін өзгереді ($XP = S_{\text{орт}} + \sigma_s$; $XP = S_{\text{орт}} + 2\sigma_s$; $XP = S_{\text{орт}} + 3\sigma_s$).

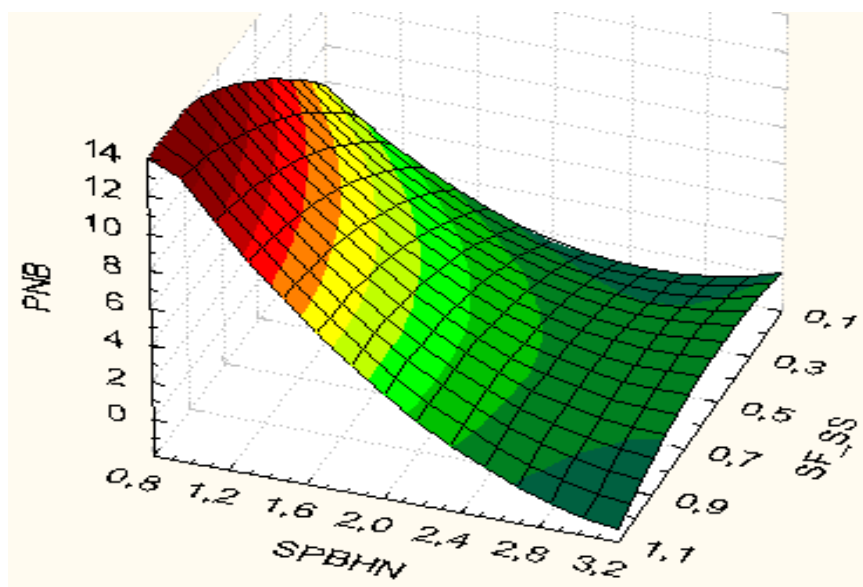
Бақылау параметрлерінің статистикалық сипатының анықталмаған P_{aa} ақауының қаупіне және D сенімділігіне әсер етуінің жалпы бейнесін визуализациялау үшін компьютерлік модельдеу нәтижелері осьтерде үш өлшемді интерпретацияда ұсынылды:

P_{aa} – анықталмаған ақаудың ықтималдық осі тәуелді айнымалы болып табылады;

D – басқару сенімді осі тәуелді айнымалы болып табылады;

SF_SS – салыстырмалы қателік осі – тәуелсіз айнымалы; SPBHN – акциялардағы стандарттар;

σ_s – тәуелсіз айнымалы. Модельдеу нәтижелері 5-6 суреттерде көрсетілген.



5-сурет. P_{aa} ықтималдықтың графикалық моделі (тәуекел)

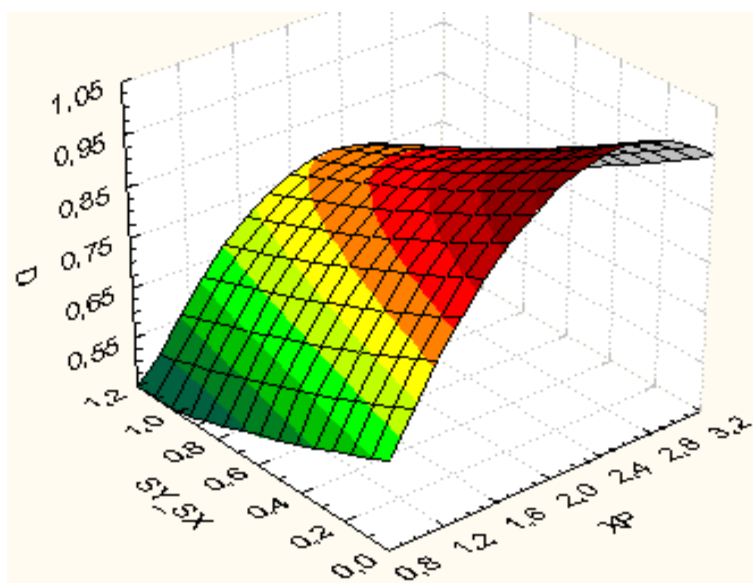
Тәуекелдерді модельдеу және басқару сенімділігінің 3D беттерінен келесідей нәтижелер айқын сызықты емес, бұл бақылау нәтижелерін және шешім қабылдауды болжау үшін классикалық аддитивті тәсілдерді қолдануды іс жүзінде мүмкін емес етеді.

Компьютерлік модельдеу нәтижесінде мыналар да анықталды:

1. Есептелген мәндерді талдау минимумның анық көрінетін сызығы бар екенін көрсетеді. Бақылау параметрлерін бөлудің қалыпты заңдылықтары бойынша шешім қабылдаудың минималды сенімділігі сызығы 82,15 %, 70,3 %, 63,05 %, 62,1 %, 59,5 % және 57,95 % нүктелер арқылы өтеді. Бұл диапазон қалыпты заңдарға тән.

2. Вариацияның ұлғаюымен статистикалық сенімділіктің 58 %-ға дейін төмендеуінің жалпы тенденциясын атап өту керек, бұл математикалық статистика тұрғысынан әбден түсінікті.

3. Бақылау параметрлерінің қалыпты таралуы үшін сенімділік бетінде максимум сызығы мәндер бойынша өтеді 10,58 %, 16,5 %, 25,95 %, 27,05 %, 29,63 %, 31,3 %.



6-сурет. Басқару сенімділігінің D өлшеу қателігіне SY_SX және басқару стандарттарына тәуелділігі XP

Қорытынды. Зерттеудің мақсаты – авиация саласы бизнесінің цифрлық трансформациясы жағдайында аэродромдық ауаның ластануын бақылау жүйесіндегі сенімділік пен тәуекелдерді бағалауға ресми көзқарасты әзірлеу. Қойылған мақсатқа жету үшін ұсынылып отырған баптың аясында келесі міндеттер шешілді: Алматы қаласы әуежайы аймағындағы басқарылатын әуе кеңістігінің геометриялық үлгісін негіздеу; ұшқышсыз ұшатын аппараттарды қолдану негізінде Алматы қаласындағы аэродром атмосферасының сапасын бақылау жүйесінің функционалдық-технологиялық үлгісі әзірленді; «Digital Twin» форматында аэродром маңындағы қоршаған ортаның атмосфералық ластануының виртуалды-кеңістіктік аппараттық 3D моделі салынды; Алматы әуежайының бақыланатын аймағындағы ауаның сапасын бағалаудың интегралдық критерийінің анық емес моделі әзірленді; Алматы әуежайының ауа ортасындағы химиялық ингредиенттер концентрациясының детерминирленген және детерминирленбеген нормативтері бар әуеайлақ маңындағы қоршаған ортаның ластануын бақылаудың сенімділігі мен тәуекелдерін сандық бағалаудың ықтималдық үлгілері әзірленді. Әуеайлақ маңындағы қоршаған ортаның ластануын бақылаудың сенімділігі мен тәуекелдерін сандық бағалау үшін компьютерлік эксперимент жүргізілді.

Әдебиеттер тізімі

1. Кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года №400-V1 «Экологический Кодекс Республики Казахстан (с изменениями и дополнениями от 27.12.21г.) // online.zakon.kz/Document/...
2. Харальд Хаас: Новый рынок в будущее беспроводного...ideanomics.ru/lectures/16040.
3. Может ли свет вытеснить радиоволны в отрасли...
itnan.ru/post.php?c=1&p=575794
4. Разница между светом и радиоволнами | Сравните...ru.strephonsays.com/light-and-vs-radio-waves-10334
5. <https://yablor.ru/blogs/dimmirovanie-svetodiodnih-lamp/5240050>
6. Режим доступа: <http://electro-shema.ru/chertezhi/micro-sxema-driver-svetodiodov.html>.

7. Роджерс Д.Л. Цифровая трансформация: практическое пособие / пер. с англ. – М.: Точка, 2017. – С. 7.
8. Что такое цифровой двойник (Digital twin): технология и ее применение future2day.ru/tehnologiya-cifrovux...
9. Big Data - что такое системы больших данных? Развитие...// promdevelop.ru/industry/big-data.
10. João Reis, Marlene Amorim, Nuno Melão & Patrícia Matos, «Digital Transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research», In book March 2018., pp.411-421, DOI:10.1007/978-3-319-77703-0_41.
11. airnanny.by/...potrebitelskie-datchiki-kachestva...
12. Selcuk Ekici, Gorkem Yalin, Onder Altuntas, Hikmet Karakoc, 2013. Calculation of HC, CO and NOx from civil aviation in Turkey in 2012. Int. J. Environment and Pollution, Vol. 53, Nos. 3/4, 2013.
13. Alibekkyzy K, Wojcik W, Vyacheslav K, Belginova S. Robust data transfer paradigm based on VLC technologies. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2021 Little Lion Scientific. 15th February 2021. Vol.99. No 3

References

1. Kodeks Respubliki Kazahstan ot 2 yanvarya 2021 goda №400-V1 «Ekologicheskij Kodeks Respubliki Kazahstan (s izmeneniyami i dopolneniyami ot 27.12.21g.) // online.zakon.kz/Document/...
 2. Haral'd Haas: Novyj ryvok v budushchee besprovodnogo...ideanomics.ru/lectures/16040.
 3. Mozhet li svet vytesnit' radiovolny v otrasli... itnan.ru/post.php?c=1&p=575794
 4. Raznica mezhdru svetom i radiovolnami | Sravnite...ru.strephonsays.com/light-and-vs-radio-waves-10334
 5. <https://yablor.ru/blogs/dimmirovanie-svetodiodnih-lamp/5240050>
 6. Rezhim dostupa: <http://electro-shema.ru/chertezhi/micro-sxema-driver-svetodiodov.html>.
 7. Rodzhers D.L. Cifrovaya transformaciya: prakticheskoe posobie / per. s angl. M.: Tochka, 2017. S. 7.
 8. Что такое цифровой двойник (Digital twin): технология и ее применение future2day.ru/tehnologiya-cifrovux...
 9. Big Data - что такое системы больших данных? Развитие...// promdevelop.ru/industry/big-data.
 10. João Reis, Marlene Amorim, Nuno Melão & Patrícia Matos, «Digital Transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research», In book March 2018., pp.411-421, DOI:10.1007/978-3-319-77703-0_41.
 11. airnanny.by/...potrebitelskie-datchiki-kachestva...
 12. Selcuk Ekici, Gorkem Yalin, Onder Altuntas, Hikmet Karakoc, 2013. Calculation of HC, CO and NOx from civil aviation in Turkey in 2012. Int. J. Environment and Pollution, Vol. 53, Nos. 3/4, 2013.
 13. Alibekkyzy K, Wojcik W, Vyacheslav K, Belginova S. Robust data transfer paradigm based on VLC technologies. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2021 Little Lion Scientific. 15th February 2021. Vol.99. No 3
-
-