

საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების ავტომატური აღრიცხვის პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები

რობერტ ხაჩიძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო

რეზიუმე: ნაშრომში განხილულია სამოქალაქო ავიაციის თვითმფრინავების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების (ნახშირბადის ოქსიდების - CO/CO₂, დაუწვავი ნახშირწყალბადების - C_nH_m და აზოტის ოქსიდების - NO_x) ავტომატური აღრიცხვის პრობლემები და დასახულია მათი გადაჭრის გზები ICAO-ს მიერ რეკომენდებული მეთოდის გამოყენებით. დასმულია საკითხი ჰაერისა და აეროპორტების მიმდებარე გარემოს შესაბამისი დაბინძურებით გამოწვეული ეკოლოგიური საფრთხის შესწავლისა და შეფასების აუცილებლობის შესახებ და გამახვილებული ყურადღება საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირწყალბადოვანი აირების შემცირებისა და კომპენსაციის სქემის (CORSIA) მოთხოვნებზე და საქართველოს სამოქალაქო ავიაციის სააგენტოს ჩართულობაზე ამ პროცესში.

საკვანძო სიტყვები: აირების ემისია, ჰაერის დაბინძურება, აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლი, ძრავას მუშაობის რეჟიმი, გამონაბოლქვი აირები, ემისიის ინდექსი.

ძირითადი ნაწილი

საჰაერო ხომალდების მოძრაობისას როგორც აეროდრომის ტერიტორიაზე, ისე მათი აფრენისა და დაფრენის დროს - ე.წ. აფრენა-დაფრენის ციკლის შესრულებისას (ადგ -LTO), ასევე ჰაერში კრეისერულ სიმაღლეზე ჰორიზონტალური მოძრაობისას, ძრავებიდან გამოიყოფა ჰაერის დამაბინძურებელი ქიმიური ნივთიერებები, რომლებიც დაჯგუფებულია შემდეგნაირად: ნახშირბადის ოქსიდები - CO/CO₂, დაუწვავი ნახშირწყალბადები - C_nH_m, აზოტის ოქსიდები - NO_x და ჰაერში შეწონილი მყარი ნაწილაკები კვამლის სახით - SN.

ზემოაღნიშნული ნივთიერებებიდან თითოეული მათგანი ცალცალკე და ერთობლივად უარყოფით ზემოქმედებას ახდენენ როგორც გარემოზე, ისე კლიმატზე. ნახშირორჟანგი CO₂ ყველაზე სიცოცხლისუნარიანია (დაახლოებით 100 წელი), ერევა ატმოსფეროს ქვედა ფენებში და გროვდება იქ, რაც ხელს უწყობს სათბურის ეფექტის გაზრდას. ნახშირორჟანგი CO წარმოიქმნება საწვავის არასრული წვის გამო. ის ადამიანებისა და თბილისისხლიანი ცხოველებისათვის მომწამვლელია, როცა ის ხვდება მათ ორგანიზმში სასუნთქი გზების საშუალებით. ის გარკვეულწილად მონაწილეობს ოზონის წარმოქმნის პროცესში ტროპოსფეროში. მავნე ნივთიერებებს მიეკუთვნება საჰაერო ხომალდის ძრავას გამონაბოლქვში არსებული აზოტის ოქსიდებიც NO_x. მყარი შეწონილი ნაწილაკები SN, რომლებიც გამოიტყორცნება უშუალოდ ძრავიდან ან მეორადი პროცესების შემდეგ, ქმნის სხვადასხვა ნივთიერების (მძიმე მეტალები, სულფატები, ნიტრატები, ამონიუმები, ორგანული ნახშირბადები და სხვა) შემცველი ნაწილაკების რთულ ნარევეს, რომელთა ზომები 2.5 მიკრომეტრი ან ნაკლებია. ისინი ახდენს ნეგატიურ ზემოქმედებას ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ასევე მცენარეებზე, ილექება და აბინძურებს ნიადაგს და გრუნტის წყლებს [1].

2016 წელს სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ICAO გარემოს დაცვის კომიტეტში მიღწეული იქნა შეთანხმება საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირწყალბადოვანი აირების შემცირებისა და კომპენსაციის სქემის შესახებ (CORSIA), რომლის მიხედვითაც 2020 წლიდან მსოფლიო ავიაციამ არ უნდა გაზარდოს ნახშირწყალბადოვანი აირების გამონაბოლქვი, ხოლო 2050 წლისათვის ის უნდა შეამციროს ორჯერ 2005 წლის დონესთან შედარებით. დღეისათვის CORSIA-ს მიერთებულია 73 ქვეყანა, რომლებიც მოიცავს მსოფლიოს საავიაციო კომპანიების 88%-ს [2].

2024 წლის 1 იანვრიდან საქართველოში ამოქმედდა „საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირორგანოს გამონაბოლქვის შემცირებისა და კომპენსაციის წესი“ [3].

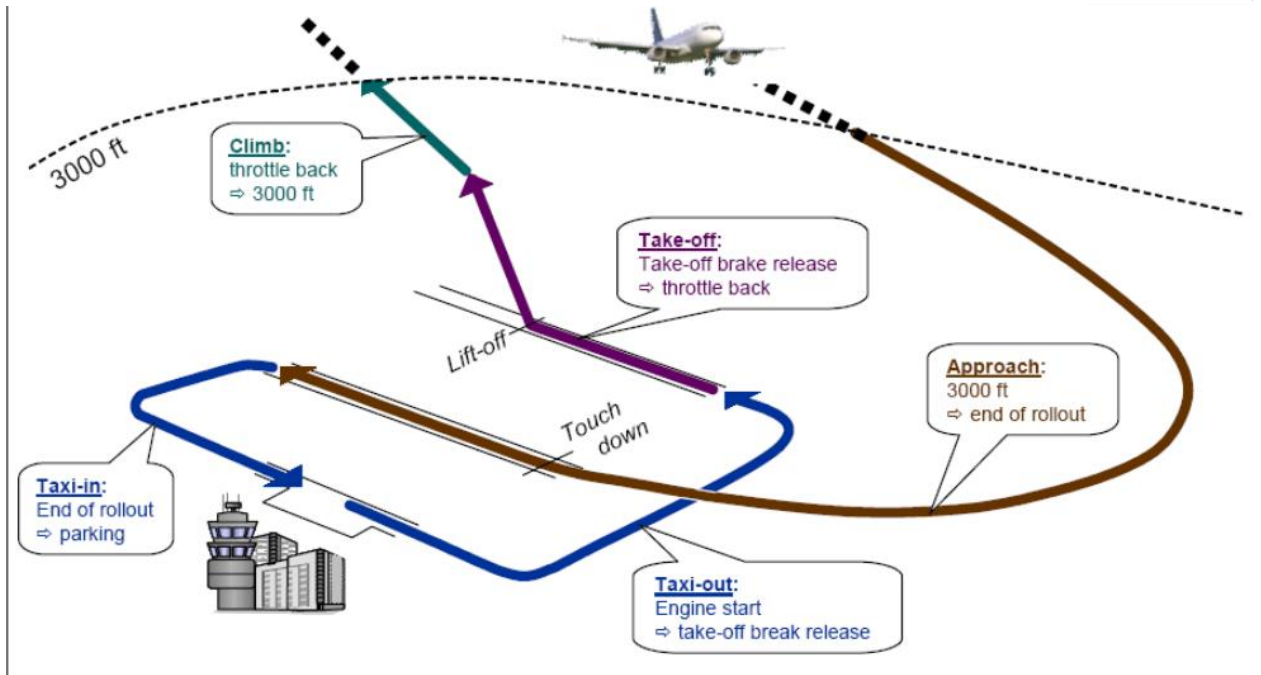
ზემოაღნიშნულის პარალელურად ჩასატარებელია დამატებითი კვლევები იმის დასადგენად, თუ როგორ გადანაწილდება ზემოაღნიშნული გამოფრქვეული მავნე ნივთიერებები თითოეული აეროპორტისა და მიმდებარე გარემოში - ჰაერში, ნიადაგსა და გრუნტის წყლებში. ძრავიდან გამონაბოლქვი, რომელიც წარმოიქმნება თვითმფრინავის აფრენა-დაფრენის ციკლის დროს, პირველ რიგში აბინძურებს აეროპორტის მიმდებარე გარემოს, სადაც უმრავლეს შემთხვევაში არის დასახლებული პუნქტები და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები. აბსოლუტურად განსხვავებული კლიმატური პირობები და გარემო საქართველოში მოქმედ 3 საერთაშორისო სამოქალაქო აეროპორტებში (თბილისის, ქუთაისის, ბათუმის). ამიტომ საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების რაოდენობის განსაზღვრის შემდეგ აუცილებელია მათი გარემოში განაწილების სურათის დადგენა თითოეული აეროპორტისათვის შესაბამის რეგიონში გაბატონებული ქარებისა და გრუნტის წყლების მიმართულებების, ასევე სხვა განსაკუთრებული მიზეზების გათვალისწინებით [4-6].

როგორც ICAO-ს სახელმძღვანელო დოკუმენტებშია აღნიშნული, აეროპორტის ზონის ჰაერისა და მიმდებარე გარემოს დაბინძურება საავიაციო ემისიებისაგან ხდება თვითმფრინავის აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის დროს, ანუ აეროდრომის ზემდებარე სივრცეში აეროდრომის ზედაპირიდან 3000 ფუტ (915 მ) სიმაღლემდე. თვითმფრინავის უფრო მეტ სიმაღლეზე მოძრაობისას მისი ძრავიდან გამონაბოლქვი ნივთიერებები აღარ ხვდება აეროპორტის ზონაში [7].

უნდა აღინიშნოს, რომ ჰაერში საჰაერო ხომალდების გამონაბოლქვი ნივთიერებების მავნე კომპონენტების კონცენტრაცია და მათი სივრცული განაწილების მახასიათებლები ატმოსფეროში და აეროპორტის ტერიტორიაზე დიდწილად დამოკიდებულია იმ დროისთვის არსებულ როგორც ლოკალურ, ისე გლობალურ მეტეოროლოგიურ პირობებზე. ამ პირობებიდან ყველაზე მკაფიოდ არის გამოხატული ქარის მიმართულებისა და სიჩქარის გავლენა. სხვა ფაქტორების (ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა, მზის რადიაცია) გავლენა ნაკლებად გამოხატულია და ამ ფაქტორებზე დამოკიდებულება უფრო რთული ხასიათისაა.

ICAO-ს მიხედვით საჰაერო ხომალდის აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლი (LTO) მოიცავს შემდეგ ეტაპებს: მიმოსვლა აეროდრომზე აფრენის წინ (Taxi-out), აფრენა (Take-off), სიმაღლის აკრეფა (Climb), დაფრენა (Approach).

სურ. 1-ზე წარმოდგენილია ICAO-ს მიერ მიღებული თვითმფრინავის ფრენის პირობითი ეტაპები, ხოლო ცხრ. 1-ში მოცემულია აეროპორტის ზონაში საჰაერო ხომალდის მიერ შესრულებული ოპერაციებისა და მისი ძრავის მუშაობის რეჟიმების მახასიათებლები.



სურ. 1 თვითმფრინავის ფრენის პირობითი ეტაპები

საექსპლოატაციო რეჟიმი	ეტაპის ხანგრძლივობა	ძრავის სიმძლავრე
მიმოსვლა აეროდრომის ტერიტორიაზე აფრენის წინ (Taxi-out)	19 წთ	7%
აფრენა (Take-off)	0,7 წთ	100%
სიმაღლის აღება (Climb)	2,2 წთ	85%
დაფრენა (Approach)	4,0 წთ	30%
მიმოსვლა აეროდრომის ტერიტორიაზე დაფრენის შემდეგ (Taxi-in)	7 წთ	7%

ცხრ. 1 საჰაერო ხომალდის მიერ შესრულებული ოპერაციები და მისი ძრავის მუშაობის რეჟიმების მახასიათებლები

ICAO-ს შესაბამის დოკუმენტებში მოცემული ფორმულებისა და მონაცემების გამოყენებით შესაძლებელია აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის ოპერაციების შესრულებისას საავიაციო ემისიების გამოთვლა აეროპორტის ზონებში ჩვენთვის საინტერესო პერიოდის განმავლობაში, თუ ცნობილი იქნება ამ პერიოდში აეროპორტში მოფრენილი და აეროპორტიდან გაფრენილი თვითმფრინავებისა და შესაბამისად მათი ძრავების სახეობები და რეისების რაოდენობა.

დამაბიძრებელი ნივთიერებების მასა, რომელიც წარმოიქმნება ავიაძრავში და გამოიფრქვევა ატმოსფეროში დამოკიდებულია:

- ძრავის რეჟიმსა და მუშაობის დროზე;
- ამ ნივთიერების ემისიის ინდექსზე;
- საწვავის მოხმარების რეჟიმზე.

სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის ამავე სახელმძღვანელო დოკუმენტში მოცემულია საავიაციო ძრავების ემისიების შეფასების მეთოდოლოგია, რომლის თანახმადაც აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის ოპერაციების შესრულებისას აეროპორტის ზონაში თვითმფრინავის ძრავიდან ატმოსფეროში გამონაბოლქვი თითოეული დამაბინძურებელი ნივთიერების რაოდენობის გამოთვლა შესაძლებელია მარტივი, გამომჯობესებული ან დეტალური მეთოდის გამოყენებით.

გაუმჯობესებულ და დეტალურ მეთოდების გამოყენებისას შედარებით მეტი ინფორმაციის გათვალისწინება შესაძლებელი (მეტეოროლოგიური პირობების პარამეტრები რეისის შესრულებისას, ჰაერის წნევა და ტემპერატურა საჰაერო ხომალდის აფრენისას ან დაფრენისას, აეროპორტის განლაგების სიმაღლე ზღვის დონიდან, დაწვრილებითი ტექნიკური და საექსპლუატაციო მონაცემები საჰაერო ხომალდისა და მისი ძრავის შესახებ და სხვა).

მაგალითისათვის, მარტივი მეთოდით საჰაერო ხომალდების გამონაბოლქვი ნივთიერებების მასა M_i (კგ-ში) გამოითვლება ფორმულით:

$$M_i = \sum EI_{ij} \cdot G_j \cdot T_j,$$

სადაც:

i - დამაბინძურებელი ნივთიერების ნომერია;

j - ძრავას მუშაობის რეჟიმის ნომერი აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის შესრულებისას;

EI_{ij} - i -ური დამაბინძურებელი ნივთიერების ემისიის ინდექსი ძრავას მუშაობის j -ური რეჟიმის დროს;

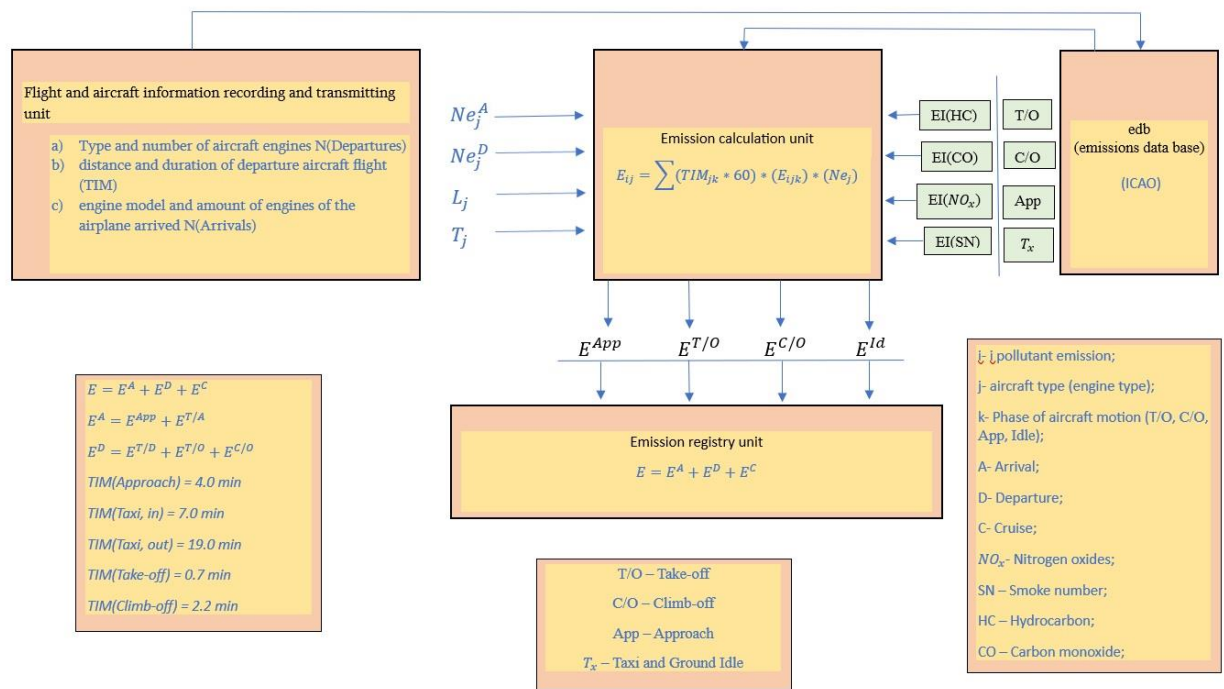
G_j - ძრავას მიერ დახარჯული საწვავის რაოდენობაა (კგ/წმ) ძრავას მუშაობის რეჟიმის j რეჟიმის დროს;

T_j - ძრავას მუშაობის ხანგრძლივობა მისი მუშაობის რეჟიმის j რეჟიმის დროს.

როგორც ამ და ნებისმიერი სხვა გამოთვლებისას ყველაზე მნიშვნელოვანი პარამეტრია ძრავას ემისიის ინდექსი EI , ანუ მონაცემები იმის შესახებ, თუ საჰაერო ხომალდის რომელი ძრავა თითოეული ამ ნივთიერების რა რაოდენობას გამოყოფს ერთ წამში ერთი კილოგრამი საწვავის დაწვისას. ემისიის ინდექსები დადგენილია თითოეული ტიპის სერტიფიცირებული ძრავისათვის და მოცემულია ICAO-ს შესაბამის სახელმძღვანელო დოკუმენტში [8].

საჰაერო ხომალდების სხვადასხვა ტიპის მრავლების საჰაერო ემისიების ICAO-ს მონაცემთა ბაზის საფუძველზე აღნიშნული ფორმულისა და „Excel“-ის ცხრილების გამოყენებით შესაძლებელია საჰაერო მრავლებიდან გამონაბოლქვი დამაბინძურებელი ნივთიერებების როგორც ცალკეული, ისე ჯამური მასის გამოთვლა ნებისმიერი აეროპორტისათვის მისი ექსპლუატაციის ნებისმიერი დროის მონაკვეთისათვის, თუ ცნობილი იქნება ფრენის განრიგი და შესრულებული (ან შესასრულებელი) რეისების რაოდენობა, საჰაერო ხომალდებისა და მათი მრავლების ტიპები.

როგორც წესი, ზემოთ აღნიშნული მონაცემები ფიქსირდება აეროპორტის შესაბამისი სამსახურის მიერ დადგენილი ფორმით განსაზღვრულ დოკუმენტებში. მაგრამ ნებართვის მიღება მათ ლეგალურ გამოყენებაზე, მათი მოძიება და დამუშავება, ხოლო შემდეგ გამოთვლების ჩატარება სპეციალურად დამუშავებული პროგრამის გამოყენებით საკმარისად დიდ დროსა და ადამიანურ რესურსს მოითხოვს. უმჯობესი იქნება ისეთი ავტომატური ელექტრონული მოწყობილობის შექმნა, რომელიც აეროპორტიდან აფრენილი ან მოფრენილი საჰაერო ხომალდის შესახებ ინფორმაციის ჩანაწერის გაკეთების პარალელურად მიიღებს კოდირებულ ინფორმაციას ამ ჩანაწერის შესახებ და გამოთვლის მიმდინარე რეისის (გაფრენის ან მოფრენის) აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის შესაბამისი ეტაპების შესრულებისას გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების მასურ რაოდენობას. ეს შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი სქემის მიხედვით



სურ. 2 გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების მასური რაოდენობის გამოთვლის სქემა

სქემის რეალიზაციისათვის საჭიროა საინჟინრო და პროგრამირების მეთოდების სინთეზური გამოყენება, რაც სავსებით შესაძლებელია თანამედროვე ტექნოლოგიების პირობებში.

დასკვნა

საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების ავტომატური აღრიცხვის მეთოდის გამოყენებით გაუმჯობესდება შემდეგი ღონისძიებების განხორციელების პროცესების პარამეტრები:

1. გაიზრდება საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი თითოეული მავნე ნივთიერების მასური რაოდენობის დადგენის ოპერატიულობის ხარისხი და გამოთვლების სიზუსტე ნებისმიერ სასურველი პერიოდისათვის;
2. შესაძლებელი იქნება თითოეული კონკრეტული აეროპორტებისათვის საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერების გავრცელების არეალისა და ინტენსივობის დადგენა და შესაბამისი ეკოლოგიური შეფასების განხორციელება ნებისმიერი დროის სასურველი პერიოდისათვის შესაბამისი სიმულაციური მეთოდების გამოყენებით;
3. შესაძლებელი იქნება საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირორგანოს გამონაბოლქვის შემცირებისა და კომპენსაციის წესის გამოყენებით უკეთესი ხელშემწყობი პირობების შექმნა CORSIA-ს მოთხოვნების შესრულებისათვის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - Travis M. Norton, Aircraft Greenhouse Gas Emissions during the Landing and Takeoff Cycle at Bay Area Airports, The University of San Francisco USF Scholarship, 2014;
- [2] - ICAO Document 08_CORSLIA Eligible Emissions Units, 2022;
- [3] - „საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირორგანოს გამონაბოლქვის შემცირებისა და კომპენსაციის წესი“, სსიპ – სამოქალაქო ავიაციის სააგენტოს დირექტორის ბრძანება №235, 22.11.2023;
- [4] - Aydin Tokuslu, „Calculation of Aircraft Emissions during Landing and Take-Off (LTO) Cycles at Batumi International Airport, Georgia“, ISSN: 2148-9173 *International Journal of Environment and Geoinformatics* 8(2):186-192 (2021);
- [5] - ლ. ბედენაშვილი, „საქართველოს აეროპორტების გარემოზე ზემოქმედების შეფასება და შემარბილებელი ღონისძიებების შემუშავება“, სადისერტაციო ნაშრომი, საქართველოს საპატრიარქოს წმინდა ანდრია პირველწოდებულის სახელობის ქართული უნივერსიტეტი, თბილისი, 2019;
- [6] - R. Khachidze, K. Chokheli, A. Svianadze “Quantitative assessment of aviation emissions for international airport zones in Georgia“, *International Scientific Journal*, ISSN 1512-4916, Tbilisi, 2022;
- [7] - „Airport Air Quality Manual“, Doc 9889, ICAO, 2020;
- [8] - Emissions databank ICAO, Doc. 9646-AN/943.

Technical Challenges in the Automated Quantification of Emissions from Aircraft Propulsion Systems and Their Solution

R. Khachidze

Georgian Aviation University
Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

Abstract

The paper discusses the issue of automatically accounting for harmful substances (carbon oxides - CO/CO₂, unburned hydrocarbons - C_nH_m, and nitrogen oxides - NO_x) emitted from civil aviation aircraft engines and proposes solutions using the methodology recommended by ICAO. It emphasizes the necessity of studying and assessing ecological risks caused by air pollution and environmental contamination near airports. The paper also highlights the requirements of the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) to reduce and compensate for hydrocarbon emissions and addresses the involvement of Georgia's Civil Aviation Agency in this process.