

УДК 621.45.023:504

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ИСТЕЧЕНИЯ СТРУЙ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

Т.А. Коротаева^{1,2}, А.О. Турчинович²

¹*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН,*

²*Новосибирский государственный технический университет*

Одним из важных этапов эксплуатации воздушных судов является «гонка двигателей», предназначенная для проверки работоспособности силовых установок. Этап осуществляется на специальной площадке с газоотбойником – преградой для отклонения выхлопных струй загрязняющих веществ и защиты персонала и окружающей среды от раскаленных газов. Целью исследования являются оценка эффективности газоотбойников сплошной и ячеистой конструкций и их влияние на рассеивание загрязняющих веществ.

В работе численно моделируется обтекание трехмерной конфигурации летательного аппарата, стоящего на площадке для гонки двигателей, оборудованной струеотклоняющим щитом. Из сопел двигателя истекают продукты сгорания, состав которых соответствует режиму максимальной тяги. Полагается, что продукты сгорания авиатоплива являются химическими активными веществами. При этом кинетическая модель ограничивается рассмотрением продуктов сгорания авиатоплива, которые определены Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) как наиболее опасные, к тому же часть из этих веществ способна вступать в реакции с кислородом воздуха с дополнительным образованием загрязняющих веществ. Задача решается в рамках уравнений Навье–Стокса, дополненных кинетическими уравнениями взаимодействия продуктов сгорания авиатоплива с кислородом воздуха, которая решается численно с помощью программного продукта Ansys Fluent. Анализ поведения струй загрязняющих веществ и их взаимодействия с газоотбойниками различных конфигураций позволяет сделать выводы об эффективности струеотклоняющих устройств.

Ключевые слова: самолет, «гонка двигателей», газоотбойник, загрязняющие вещества, численное моделирование, химические реакции.

DOI: 10.17212/1727-2769-2016-2-68-77

Введение

Возрастающая роль авиатранспорта в грузо- и пассажироперевозках приводит к увеличению количества аэропортов и их пропускной способности. Это неизбежно ведет к обострению экологической обстановки в районах их расположения.

Для защиты населения от негативного воздействия воздушных судов нормативными документами устанавливаются санитарно-защитные зоны – территории с особым режимом использования, непригодные для жилой застройки. Установление границ санитарно-защитных зон для аэропортов и аэродромов в каждом конкретном случае осуществляется на основании фактического уровня концентраций загрязняющих веществ, шума и электромагнитного излучения. Для установления санитарно-защитных зон аэропортов и аэродромов по уровню химического загрязнения необходимо провести расчет уровней концентраций загрязняющих веществ в приземном пограничном слое, полученных при эксплуатации воздушных судов в условиях стандартного взлетно-посадочного цикла и при «гонке двигателей». Гонка предполагает запуск двигателей воздушного судна на всех режимах их работы в течение определенного времени, которое может дости-

гать 30 мин в зависимости от типа двигателя. За это время в окружающую среду поступает значительное количество загрязняющих веществ, уровень которых определяется программой гонки.

Для защиты персонала и окружающей среды от высокотемпературных и высокоскоростных струй продуктов сгорания авиатоплива воздушное судно располагают на специальной площадке, оборудованной струеотклоняющими устройствами – газоотбойниками, поверхность которых может быть различной (сплошной, ячеистой и т. д.).

Общепринятым для инженерной оценки уровня загрязнения является использование методики [1]. Однако она дает весьма приближенную оценку загрязнения. Существуют также методики и подходы, не получившие пока широкого применения в инженерной практике, позволяющие более детально оценить загрязнение, полученное при эксплуатации воздушных судов. Среди современных отечественных ученых, чьи работы посвящены моделированию распространения загрязняющих веществ от воздушных судов, наиболее передовыми являются работы О.А. Картышева и Ю.В. Медведева [2], А.Л. Стасенко [3], А.М. Старика [4]. В работе [2] представлена методика, в которой учтено наибольшее число параметров рассматриваемой задачи из всех возможных. Рассмотрен весь цикл рассеивания загрязняющих веществ: от выброса струями двигателей воздушных судов до рассеивания облака загрязняющих веществ в атмосфере. В работе А.Л. Стасенко с соавторами [3] рассматривается истечение осесимметричных струй с химически реагирующими компонентами. Основные процессы в выхлопной струе, ответственные за формирование аэрозольных компонентов, загрязняющих атмосферу, а также оценка влияния эмиссии авиационных двигателей на атмосферные процессы приведены в работе [4]. В работе [5] предлагается методика для определения уровня загрязнений от движущихся воздушных судов. Следует отметить, что взаимодействие выхлопных струй с газоотбойником и его влияние на распространение загрязняющих веществ не рассматривалось ни в одной из работ. Кроме того, под вопросом остается оценка эффективности используемых газоотбойников на площадке для опробования силовых установок. Поэтому целью настоящего исследования является оценка эффективности газоотбойников сплошной и ячеистой конструкций.

1. Постановка задачи

Оценить эффективность газотбойника и выявить особенности течения вблизи него можно с помощью численного моделирования процесса истечения выхлопных химически активных струй и их взаимодействия со струеотклоняющим устройством.

Для этого в работе рассматривается самолет в приземном слое атмосферы, стоящий на площадке для гонки двигателей, схема которой приведена на рис. 1. Воздушное судно запускает двигатели на режиме максимальной тяги.

Схема задачи для численного решения совпадает с приведенной на рис. 1. В качестве условий в набегающем потоке приняты атмосферное давление 101 325 Па, температура окружающей среды 17 °С. Направление ветра со скоростью 5 м/с совпадает с направлением истекающих из двигателя струй. Объектом исследований является самолет с четырьмя двигателями АИ-20М. Истечение из сопел (состав смеси, температура, скорость) соответствует режиму максимальной тяги.

Для проведения исследования были построены трехмерные математические модели самолета и газоотбойника. При этом поверхность самолета была упрощена, так как построение расчетной сетки при пространственном моделировании

усложняется реальной геометрией самолета и газоотбойного щита, расположенного под углом к земле. В том числе пренебрегли моделированием винтов, установленных на двигателе, ввиду того, что при гонке двигателей лопасти винта стоят в положении минимального сопротивления вращению, согласно инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию авиационного турбовинтового двигателя АИ-20М, и не образуют спутного течения за ними.

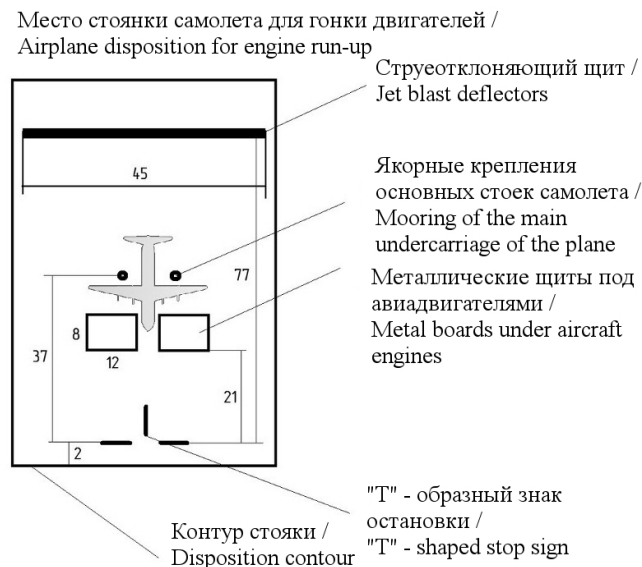


Рис. 1 – Схема для расположения самолетов на площадке для гонки двигателей

Fig. 1 – Schematic of aircraft disposition in run-up area

Расчетная область представляет собой параллелепипед, включающий обтекаемую поверхность самолета и газоотбойный щит. Построение области осуществлялось с использованием ANSYS Design Modeler (academic). На рис. 2 приведены трехмерные модели рассматриваемых объектов.

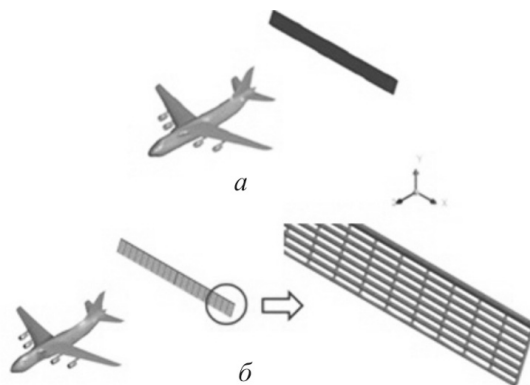


Рис. 2 – Трехмерная модель самолета и газоотбойников:

а – сплошной, б – ячеистый

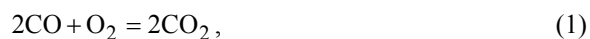
Fig. 2 – 3-D models of airplane and jet blast deflectors (JBD):

а – solid faced JBD, б – mesh faced JBD

Параметры газообойников: габариты, углы наклона к поверхности земли, геометрия ячеек ячеистого газоотбойника, направляющая поток выхлопных газов вверх, воссозданы согласно реальным особенностям конструкций, используемых на одном из российских аэродромов.

Следующий этап в подготовке к математическому моделированию это определение разностной сетки. С помощью ANSYS Meshing построена разностная сетка, состоящая из ~1,5 млн ячеек. В окрестности самолета и газоотбойника проведено сгущение сетки для более детального описания течения выхлопных газов.

В качестве кинетической модели рассматривается модель полного сгорания топлива, которая осуществляется при максимальном режиме работы авиадвигателей. Предполагается, что основными веществами в выхлопных газах являются NO_x , CO , C_nH_m , сажа, выброс которых контролирует ИКАО. При полном сгорании топлива выброс несгоревших углеводородов считается пренебрежимо малым. Исходя из этого, химически активными веществами при полном сгорании топлива могут быть монооксиды углерода и азота, которые способны окислиться кислородом воздуха до соответствующих диоксидов:



Учитывая высокую скорость и температуру истекающих струй продуктов сгорания авиатоплива, рассматривается движение вязкого, сжимаемого газа, описываемого уравнениями Навье–Стокса. Для получения численного решения используется метод конечных объемов, встроенный в ANSYS FLUENT.

В качестве настроек решателя приняты: связанный решатель *'density-based'*, схема решения – нестационарная неявная второго порядка точности аппроксимации, в качестве модели турбулентности используется SST $k-\omega$. Для расчета распространения загрязняющих веществ подключаются кинетические уравнения для определения концентраций химических компонент.

Граничными условиями являются: на срезе сопел условия массового расхода, на поверхности самолета и на газоотбойнике – условия прилипания. На внешних границах расчетной области задаются условия в набегающем потоке с постоянными коэффициентами турбулентной диффузии и скоростью ветра.

Расчет газодинамического течения в трехмерной области с учетом химических реакций достаточно сложен и требует больших затрат машинного времени и ресурсов.

2. Верификация

Истечение в спутный поток осесимметричной химически активной струи выхлопных газов рассматривается в работе в качестве модельной задачи для верификации предлагаемого подхода, разработанной кинетической модели и настроек решателя. В качестве граничных условий для численного решения задачи об истечении осесимметричной струи используются следующие условия: на верхней границе области – условия в окружающей среде *'pressure-far-field'*, на выходной границе – условия на выходе *'pressure-outlet'*, на входной границе области – на срезе сопла – условия массового расхода *'mass-flow-inlet'*, на остальной части – твердая стенка *'wall'*.

Газодинамические параметры на срезе сопла и химический состав продуктов сгорания авиатоплива соответствуют этапу минимальной тяги двигателей с характеристиками, приведенными в работе [6]. Задавались температура газов 537 °С и давление 89 770 Па.

Параметры в области решения: атмосферное давление 101 325 Па, температура окружающей среды 17 °С, скорость ветра 5 м/с.

В результате расчета получена газодинамическая структура течения, характерная для дозвуковой осесимметричной струи. На рис. 3, *а* показаны распределения концентраций угарного газа на начальном участке струи. Характер изменения концентрации того же вещества вдоль оси струи при удалении от среза сопла можно видеть на рис. 3, *б*. Концентрации веществ даны в долях ПДК. Штриховой линией обозначены экспериментальные данные [6], сплошной – результаты проведенного моделирования (рис. 3, *б*). Как видно из рисунка, расчетные значения хорошо согласуются с экспериментальными данными [6], что позволяет судить о достоверности результатов моделирования распространения загрязняющих веществ от двигателей воздушных судов, представленных в следующем разделе.

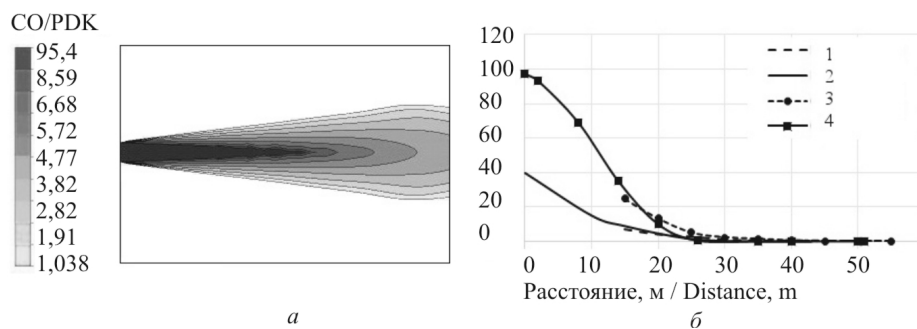


Рис. 3 – Распределение загрязняющих веществ вдоль оси осесимметричной выхлопной струи:

а – распределение долей ПДК для CO вдоль оси; *б* – сравнение значений долей ПДК (1) экспериментальных для NO_x; (2) расчетных NO_x; (3) экспериментальных для CO; (4) расчетных для CO

Fig. 3 – Distribution of the polluting substances along an axis of an axisymmetric exhaust stream:

a – the distribution of shares of permissible level of pollution for CO along an axis; *b* – comparison of values maximum allowable concentration (1) experimental for NO_x; (2) calculation value for NO_x; (3) experimental for CO; (4) calculation value for CO

3. Полученные результаты

Примеры результатов, полученных при моделировании обтекания тела самолетной конфигурации, с истекающими из сопел продуктов сгорания, и взаимодействие со сплошным газоотбойником можно видеть на рис. 4–6.

На рис. 4, *а* приведено распределение скорости в плоскости, проходящей через двигатели параллельно поверхности земли. Максимальная скорость истечения газов из сопел располагается на срезе сопел и составляет 254 м/с. Из рисунка видно, что струи взаимодействуют с корпусом самолета и друг с другом, сливаясь в единый поток с каждой стороны фюзеляжа в районе хвостовой части. Вниз по потоку препятствием на их пути является газоотбойник. При столкновении с ним струи теряют скорость и меняют траекторию движения. При этом скорость струй становится сопоставимой со скоростью ветра. Дальнейшее развитие течения можно видеть на рис. 4, *б*. Из рисунка видно, что поток выхлопных струй взаимодействует с газоотбойником, что приводит к активному образованию сложных пространственных вихревых структур за преградой.

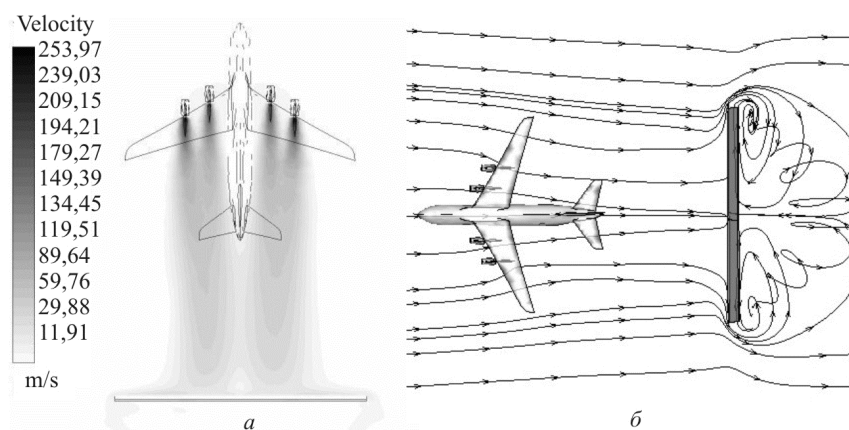


Рис. 4 – Истечение газов из сопел:

a – распределение скорости в плоскости, проходящей через двигатели параллельно поверхности земли; *б* – вихревая картина потока при взаимодействии выхлопных струй со сплошным газотбойником

Fig. 4 – The expiration of gases from nozzles:

a – velocity pattern in symmetry plane of engines parallel to the ground; *b* – vortex flow pattern at interaction between exhaust jets and solid faced JBD

Характер распространения загрязняющих веществ может быть определен при численном моделировании с учетом кинетической модели, определяющей реакции взаимодействия продуктов сгорания с кислородом воздуха (1), (2). На рис. 5 приведено распространение диоксида азота в плоскости, проходящей через двигатели и его пространственное распределение.

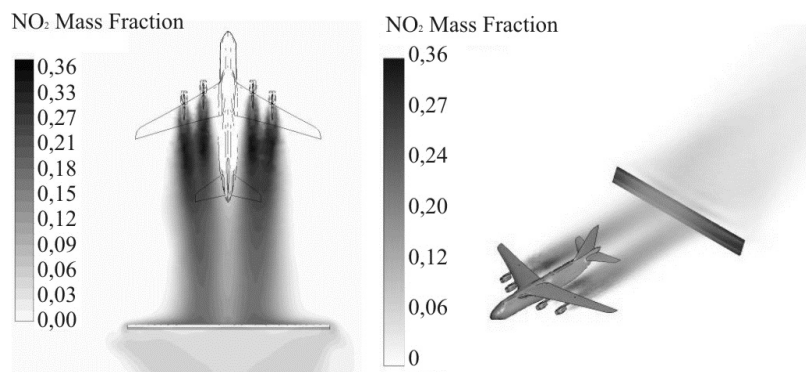


Рис 5 – Распределение NO₂

Fig. 5 – Distribution of NO₂ mass fraction

Максимальные массовые доли NO₂, как результат окисления на воздухе монооксида оксидов (2), образуются на некотором удалении от сопел авиадвигателей. При этом образование диоксидов в струе происходит вплоть до газотбойника. Сталкиваясь с преградой, поток загрязняющих веществ меняет траекторию движения и перетекает через нее. За преградой значения массовых долей уменьшаются.

Рис. 6 показывает результаты, полученные при моделировании обтекания тела самолетной конфигурации, с истекающими из сопел продуктами сгорания,

и ячейстым газоотбойником. На рис. 6, *а* представлены линии тока. Как видно из рисунка, происходит протекание потока через отверстия в преграде и за газоотбойником не образуются вихри. На рис. 6, *б* показано распространение диоксида азота.

Расчет распространения и образования загрязняющих веществ показывает, что если газоотбойник ячейстый, происходит протекание потока сквозь ячейки. По этой причине уровень загрязнения ниже перед преградой, а за ней выше, чем в случае со сплошным газоотбойником. За счет расположения ячеек под углом происходит соответствующий разворот потока, что способствует большему рассеиванию загрязняющих веществ (рис. 6, *б*). Например, максимальные доли ПДК NO_2 при ячейстой конструкции газоотбойника меньше на 5,3 % по сравнению со сплошной.

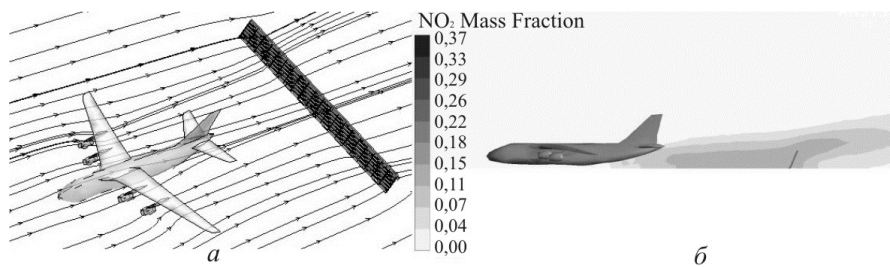


Рис. 6 – Трехмерная визуализация взаимодействия потока с ячейстой преградой:

а – вихревая картина, *б* – распространение диоксида азота

Fig. 6 – Pattern of interaction between flow and meshed faced blast fence:

а – Streamlines, *б* – Nitrogen dioxide distribution

На рис. 7 приведено сравнение результатов для рассмотренных вариантов.

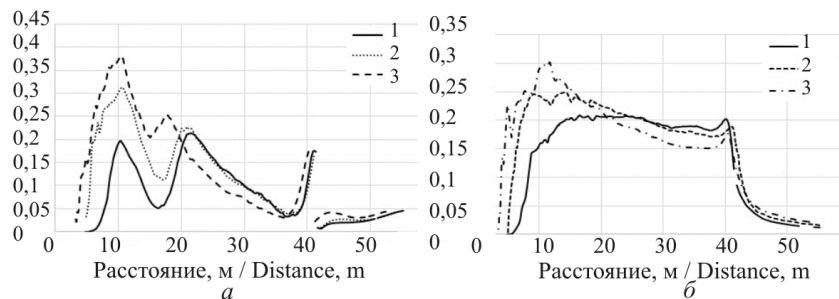


Рис. 7 – Распределение NO_2 :

1 – вдоль поверхности земли; 2 – на уровне двух метров; 3 – вдоль оси симметрии двигателя; *а* – при сплошном газоотбойнике; *б* – при ячейстом газоотбойнике

Fig. 7 – The distribution NO_2 :

1 – along the ground surface; 2 – at the level of two meters; 3 – along an engine axis of symmetry; *а* – solid faced JBD; *б* – the mesh faced JBD

На рис. 7, *а* можно видеть распределение массовых долей диоксида азота при сплошном газоотбойнике вдоль оси струи, на уровне двух метров от земли и вдоль поверхности земли. Из рисунка видно, что при сплошном газоотбойнике отмечается резкое уменьшение загрязняющих веществ в области между воздушным судном и струеотклоняющим устройством и их скопление перед преградой,

после которой уровень загрязнения существенно снижается. При взаимодействии с ячеистым газоотбойником (рис. 7, б) загрязнение постепенно убывает, перед газоотбойником уровень диоксидов азота незначительно возрастает и, проходя через ячейки, убывает по экспоненте. При этом за сплошной преградой образование загрязняющих веществ становится более интенсивным в вихревых образованиях, что приводит к увеличению массовых долей. Из рисунка видно, что массовые доли продуктов реакции между выхлопными газами и воздухом убывают монотонно при ячеистой преграде. Такой характер распределения объясняется тем, что за газоотбойниками не наблюдаются вихри. При этом отмечается, что наименьшие массовые доли загрязняющих веществ отмечаются на земле, максимальные – на уровне двигателей.

4. Выводы

Для этапа «гонка двигателей» проведено исследование взаимодействия струй отработавшего топлива с газоотбойником с использованием численного решения уравнений Навье–Стокса с учетом химической активности продуктов сгорания авиатоплива.

В работе приводятся результаты трехмерного моделирования распространения химически активных загрязняющих веществ с использованием кинетической модели, которая для случая полного сгорания топлива описывает реакции монооксида азота и углерода с кислородом воздуха в смеси сажи, угарного газа, монооксида азота, диоксидов азота и углерода, молекулярного кислорода и молекулярного азота. Данный подход позволяет ясно увидеть пространственный характер распределения загрязняющих веществ и вихревую структуру потока. Струи, выходя из сопел двигателей, взаимодействуют друг с другом, смешиваются с воздухом, сливаясь в единый поток с каждой стороны от фюзеляжа в районе хвоста. Далее этот поток натекает на газоотбойник. В случае сплошного газоотбойника часть потока огибает преграду с боков, а часть перетекает через верх, чему способствует его наклонная геометрия. Взаимодействуя со щитом, струи теряют скорость, она становится сопоставимой со скоростью ветра, массовые доли загрязняющих веществ уменьшаются. При взаимодействии со сплошным газоотбойником происходит образование пространственных вихрей за ним и на боковом отделении от него. При ячеистом газоотбойнике данных особенностей не наблюдается, загрязняющие вещества протекают через ячейки и отклоняются вверх за счет наклона ячеек. При этом взаимодействие продуктов сгорания авиатоплива с кислородом воздуха в обоих рассматриваемых случаях осуществляется на некотором удалении от сопел.

Проведенное численное исследование позволяет определить особенности течения, область их воздействия на поля концентрации загрязняющих веществ, а также оценить уровень загрязнения в зависимости от структуры поверхности газоотбойника и сделать выводы о его эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ двигателями воздушных судов гражданской авиации / Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Центр экологической безопасности гражданской авиации. – М., 2007. – 21 с.
2. Каргышев О.А., Медведев Ю.В. Расчет концентраций загрязняющих веществ от передвижных и стационарных источников аэропортового комплекса // Авиационный экологический вестник. – 2009. – № 2. – С. 71–76.

3. Кашеваров А.В., Потапов Ю.Ф., Стасенко А.Л. Влияние вида горючего на физико-химические свойства струй самолетов и распространение их компонентов в окрестности аэропорта // Ученые записки ЦАГИ. – 2001. – Т. 32, № 3/4. – С. 165–175.
4. Старик А.М., Фаворский О.Н. Эмиссия из авиационных двигателей и воздействие авиации на атмосферные процессы и климат // Экологические проблемы авиации. – М.: Торус Пресс, 2010. – С. 207–233. – (Труды ЦИАМ; № 1347).
5. Голубева А.О., Ларичкин В.В., Коротаева Т.А. Численный расчет рассеивания загрязняющих веществ от эксплуатации самолетов на прилегающих к аэропортам и аэродромам территориях // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2014. – № 1 (22). – С. 52–61.
6. Родионов И.С. Геоэкологическая оценка приземного слоя атмосферы на территории аэродромного комплекса: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36. – Воронеж, 2005. – 117 с.

SIMULATION OF THE SPATIAL JET EXHAUST OF AIRCRAFT ENGINE COMBUSTION PRODUCTS

Korotaeva T.A.^{1,2}, Turchinovich A.O.²

¹*Siberian branch of Russian academy of sciences Khristianovich institute of
theoretical and applied mechanics, Novosibirsk, Russia*

²*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

The engine ground running procedure (GRP) is one of the most important stages of the aircraft operation which involves checking engine performance capabilities. The stage is carried out in a special run-up area equipped with a jet blast deflector (JBD). The JBD is a barrier to redirect jet exhausts in a non-dangerous direction and to protect the personnel and the environment from hot gases. The aim of the study is to evaluate the effect of solid or meshed JBDs on the dispersion of pollutants. In the present paper, numerical simulation is used to achieve the objectives of the study. An aircraft is located in a run-up area with a JBD. The engines are run at a full thrust mode resulting in complete fuel combustion. The study only considers combustion products that are defined by ICAO as most dangerous. In addition, some of them can react with atmospheric oxygen forming pollutants. The motion of a viscous compressible gas described by the Navier–Stokes equations with due regard for chemically active exhausts has also been considered. The paper presents the results of 3-D modeling of reactive pollutant propagation using a kinetic model that describes the reaction of nitrogen monoxide and carbon with oxygen in the mixture of soot, carbon monoxide, nitrogen monoxide, nitrogen dioxide and carbon, molecular oxygen and molecular nitrogen. Conclusions on the effectiveness of solid or meshed JBDs are made based on the analysis of the pollutant jet behavior and their interaction with the JBD.

Keywords: airplane; engine run-up; jet blast deflectors; pollutants; numerical simulation; chemical reactions.

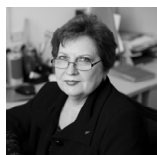
DOI: 10.17212/1727-2769-2016-2-68-77

REFERENCES

1. *Metodika rascheta vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv dvigatelyami vozdukhnykh sudov grazhdanskoi aviatsii* [The methodology for calculating emissions of pollutants from engines of civil aircraft]. Moscow, GosNII GA Publ., TsEB GA Publ., 2007. 21 p.
2. Kartyshev O.A., Medvedev Yu.V. Raschet kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv ot peredvizhnykh i statsionarnykh istochnikov aeroportovogo kompleksa [Calculation of concentrations of pollutants from mobile and stationary sources of the airport complex]. *Aviatsionnyi ekologicheskii vestnik*, 2009, no. 2, pp. 71–76.
3. Kashevarov A.V., Potapov Yu.F., Stasenko A.L. Vliyanie vida goryuchego na fiziko-khimicheskie svoystva strui samoletov i rasprostranenie ikh komponentov v okrestnosti aeroporta [Fuel type influence on the physicochemical properties of the jet aircraft and distribution of the jet components in the vicinity of the airport]. *Uchenye zapiski TsAGI – TsAGI Science Journal*, 2001, no. 3–4, pp. 165–175. (In Russian).

4. Starik A.M., Favorskii O.N. Emissiya iz aviatsionnykh dvigatelei i vozdеistvie aviatsii na atmosferynye protsessy i klimat [Emissions from aircraft engines and the impact of aviation on the climate and atmospheric processes]. *Ekologicheskie problemy aviatsii* [Ecological problems of aviation]. Moscow, Torus Press Publ., 2010, pp. 207–233.
5. Golubeva A.O., Larichkin V.V., Korotaeva T.A. Chislennyi raschet rasseivaniya zagryaznyayushchikh veshchestv ot ekspluatatsii samoletov na prilegayushchikh k aeroportam i aerodromam territoriyakh [Numerical calculation of the dispersion of pollutants from the operation of aircraft around airports and airfield territories]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2014, no. 1 (22), pp. 52–61.
6. Rodyukov I.S. *Geoekologicheskaya otsenka prizemnogo sloya atmosfery na territorii aerodromnogo kompleksa*. Diss. kand. geogr. nauk [Geoecological estimation of the surface layer of the atmosphere in the territory of the airport complex. PhD geography sci. diss.]. Voronezh, 2005. 117 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Коротаева Татьяна Александровна – родилась в 1962 году, д-р физ.-мат. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории физических проблем управления газодинамическими течениями Института теоретической и прикладной механики СО РАН, профессор кафедры инженерных проблем экологии Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: вычислительная аэродинамика. Опубликовано 111 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1. Email: korta@itam.nsc.ru).

Korotaeva Tatiana Alexandrovna (b. 1962) – Doctor of Science (Phys.&Math), Assistant Professor, Senior Researcher of Physical Problems of Gasdynamic Flows Laboratory of the Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Siberian Branch of Russian Academy of Science, professor of Engineering ecology problem department of the Novosibirsk state technical university. Research interest is currently focused on the computational aerodynamics. She is author of more than 100 scientific papers. (Address: 4/1, Institutskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia. e-mail: korta@itam.nsc.ru).



Турчинович Анна Олеговна – родилась в 1988 году, ассистент кафедры инженерных проблем экологии Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: математическое моделирование, транспортная экология. Опубликовано 15 печатных работ. Адрес (630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, д. 20. e-mail: golubevaa@ngs.ru).

Turchinovich Anna Olegovna (b. 1988) assistant of Engineering ecology problem department of the Novosibirsk state technical university. Area of research: mathematical simulation, transport ecology. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. Email: golubevaa@ngs.ru)

Статья поступила 11 апреля 2016 г.

Received April 11, 2016

To Reference:

Korotaeva T.A., Turchinovich A.O. Modelirovanie prostranstvennogo istecheniya strui produktov sgoraniya aviadvigatelei [Simulation of the spatial pollutant jets of products of combustion of aircraft engines]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2016, no. 2 (31), pp. 68–77. doi: 10.17212/1727-2769-2016-2-68-77