

УДК 629.7.015.7

В. В. СОКОЛОВА

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***КОНДЕНСАЦИОННЫЕ СЛЕДЫ, МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Рассматриваются проблемы, связанные с воздействием летательных аппаратов на окружающую среду. Показано формирование и развитие конденсационного следа за летательным аппаратом. Рассмотрены фазы эмиссии конденсационного следа за летательным аппаратом и их влияние на окружающую среду. На базе этих исследований показана актуальность разработки единого подхода в оценке степени вихревой безопасности полетов в районе крупных аэроузлов и эмиссии авиационных двигателей как при выполнении взлетно-посадочных операций, так и при полетах по воздушным трассам на крейсерских режимах.

Ключевые слова: летательный аппарат, спутный след, конденсационные следы, эмиссия.

Введение

Мировое сообщество уделяет большое внимание исследованиям и прогнозированию глобальных изменений природы. К видам человеческой деятельности, воздействие которых на окружающую среду существенно, относится воздушный транспорт. С точки зрения экологии окружающей среды воздушный транспорт считается относительно “чистым”. Потенциальное воздействие воздушного транспорта на окружающую среду тщательно анализируется [1], т.к. большая часть трасс воздушного движения дозвуковых самолётов общего назначения находится в верхней тропосфере, а перспективные сверхзвуковые самолёты общего назначения будут выполнять полёты в нижних слоях стратосферы, где находится область максимальной концентрации озона (высота 20 ... 30км). Исследования, проведённые ведущими авиационными странами, позволяют утверждать, что авиационная экология является сложившимся направлением в науке.

Одним из направлений по глобальному прогнозу изменений природы являются исследования

воздействия на окружающую среду отдельного летательного аппарата [2]. Крыло самолёта создаёт поток импульса, направленный вниз. Двигатели силовой установки летательного аппарата создают поток импульса, направленный назад (в установившемся горизонтальном полёте), компенсируя силу лобового сопротивления. Перечисленные факторы, создают предпосылки для механического перемешивания слоёв окружающей среды, при этом формируется и развивается вихревой след.

Постановка задачи исследования

В спутном и вихревом следах летательного аппарата происходят различные физико-химические процессы, которые легко наблюдаются с Земли (конденсационные следы за самолётом — “контрейлы”, рис. 1). Другие процессы, не столь легко наблюдаемые, можно исследовать с помощью специально разработанных для этого методов (образование молекулярных кластеров, кристаллизация капель водяного пара, газофазные и гетерогенные химические и фотохимические реакции).

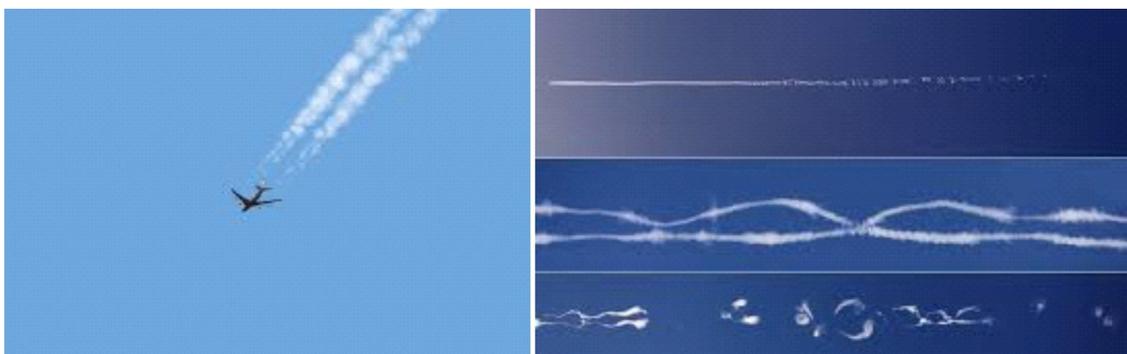


Рис. 1. Конденсационные следы самолётов

Из сопел двигателей силовой установки летательного аппарата истекает большое количество различных частиц (сажа, хемоины — электрически заряженные радикалы), на которых могут оседать молекулы воды, содержащиеся в атмосфере, и образующейся при сгорании авиационного топлива. Вследствие этого формируются микрокристаллы или микрокапли, которые испаряются, сублимируют, растут и дробятся при столкновениях друг с другом при турбулентных микропульсациях среды.

Конденсация водяных паров в реактивной струе, истекающей из сопел двигателей силовой установки летательного аппарата, происходит в её кольцевой области (в слое смешения с атмосферным воздухом). В кольцевой области реактивной струи наблюдается уменьшение массовой доли пара за счёт выпадения его в конденсат. Радиус капель конденсата водяных паров может достигать величин порядка микрометра.

Метеорологические исследования конденсационных следов за летательными аппаратами проводятся более 50 лет. Обращалось особое внимание на изменения локального климата в районе крупных аэроузлов, параллельно проводились лётные исследования условий образования контрейлов.

Известны работы, посвящённые теоретическим исследованиям фазовых переходов в осесимметричной турбулентной струе, истекающей из реактивного сопла двигателя, например, [3]. Решения модельных задач показали, что конденсация водяного пара в вихревом следе самолёта незначительна, причиной чего является тот факт, что для начала спонтанной конденсации водяных паров требуется большое их пресыщение. Кроме того, в случае углеводородного топлива, необходимые значения пресыщения не достигаются ни на срезе реактивного сопла, где температура истекающих газов высокая, ни на значительном удалении от сопла, где водяной пар уже диффундировал в окружающую среду. Основным механизмом конденсации является гетерогенная конденсация на “посторонних” ядрах, которыми могут быть, например, частицы сажи, хемоины или специально вводимые в вихревой след электрически заряженные частицы.

Благодаря накоплению расчётных и экспериментальных данных было установлено, что в вихревом следе самолёта как крылатого летательного аппарата, существенную роль играют концевые вихри, приводящие к трёхмерному распределению всех газодинамических параметров за летательным аппаратом. Поэтому потребовалось объединить опыт численного исследования газодинамики турбулентного струйно-вихревого следа с физическими моделями конденсации водяного пара и кинетики капель,

развитыми в рамках исследования осесимметричных струй.

Практический интерес представляют оптические характеристики струйно-вихревого следа самолёта. Во-первых, кванты солнечного излучения могут приводить к фотохимической диссоциации газобразных компонентов; учёт соответствующих реакций обогатит палитру и без того многокомпонентного вихревого следа самолёта. Во-вторых, для развития глобального мониторинга большой практический интерес представляют рассеивающие свойства вихревого следа. Следует отметить, что авиация может рассматриваться не только в качестве объекта исследований, но в качестве инструмента инспекционной системы: размещение на летательных аппаратах аппаратуры для наблюдения за атмосферой районных воздушных трасс и крупных аэроузлов.

Таким образом, целью данной статьи является обзор основных факторов, влияющих на формирование спутного и вихревого следов, эмиссии конденсационных следов за летательными аппаратами, а также существующих методов их исследования. На базе этих исследований показана необходимость разработки единого подхода в оценке степени вихревой безопасности и эмиссии двигателей летательных аппаратов в районе выполнения взлетно-посадочных операций.

Фазы эмиссии конденсационного следа

Продукты сгорания авиационных топлив в камерах сгорания авиационных газотурбинных двигателей могут содержать окись углерода, различные углеводороды: метан CH_4 , ацетилен C_2H_2 , этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бензол C_6H_6 , толуол $C_6H_5CH_3$, искусственный альдегид $(CH_3CO)_2O$ и др., оксиды азота, в основном NO и NO_2 , оксиды серы, твёрдые частицы, например, частицы сажи, создающие дымный шлейф за соплом двигателя летательного аппарата, и ряд других составляющих. Негативное влияние эмиссии авиационных двигателей на человека обусловлено их составом. Самыми опасными среди них являются:

Оксид углерода (CO – угарный газ). Прозрачный, не имеющий запаха ядовитый газ, легче воздуха, плохо растворим в воде. Оксид углерода – продукт неполного сгорания топлива, на воздухе горит синим пламенем с образованием диоксида углерода (углекислого газа). В камере сгорания двигателя CO образуется при неудовлетворительном распыливании топлива в камере сгорания двигателя, в результате холоднопламенных реакций, при сгорании топлива с недостатком кислорода, а также вследствие диссоциации диоксида углерода при высоких тем-

пературах. При вдыхании в организме человека образуется острый кислородный дефицит в клетках. Это приводит к мигреням, головокружению, тошноте, а при длительном отравлении угарный газ может стать причиной смерти.

Оксиды азота (NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_5 , в дальнейшем – NO_x). Оксиды азота являются одними из наиболее токсичных компонентов выхлопных газов. При нормальных атмосферных условиях азот представляет собой инертный газ. При высоких давлениях и температурах азот активно вступает в реакцию с кислородом. В выхлопных газах двигателей более 90% всего количества NO_x составляет оксид азота NO , который легко окисляется в диоксид азота (NO_2). Оксиды азота раздражающе воздействуют на слизистые оболочки глаз, носа, разрушают легкие человека, так как при движении по дыхательному тракту они взаимодействуют с влагой верхних дыхательных путей, образуя азотную и азотистую кислоты. Как правило, отравление организма человека NO_x проявляется не сразу, а постепенно, причем каких либо нейтрализующих средств нет.

Закись азота (N_2O – гемииоксид, веселящий газ) – газ с приятным запахом, хорошо растворим в воде. Обладает наркотическим действием.

Диоксид азота (NO_2) – бледно-желтая жидкость, участвующая в образовании смога. Диоксид азота используется в качестве окислителя в ракетном топливе. Отличается высокой токсичностью, которая приводит к хроническому бронхиту, астме и другим заболеваниям дыхательных путей. Считается, что для организма человека оксиды азота примерно в 10 раз опаснее CO , а при учете вторичных превращений – в 40 раз. Оксиды азота представляют опасность для листьев растений. Установлено, что их непосредственное токсичное влияние на растения проявляется при концентрации NO_x в воздухе в пределах 0,5 ... 6,0 мг/м³. Азотная кислота вызывает сильную коррозию углеродистых сталей. На величину выброса оксидов азота оказывает значительное влияние температура в камере сгорания. Так, при повышении температуры от 2500K до 2700K скорость реакции увеличивается в 2,6 раза, а при уменьшении от 2500K до 2300K – уменьшается в 8 раз, т.е. чем выше температура, тем выше концентрация NO_x . Ранний впрыск топлива или высокие давления сжатия в камере сгорания также способствуют образованию NO_x . Чем выше концентрация кислорода, тем выше концентрация оксидов азота.

Углеводороды (C_nH_m – этан, метан, этилен, бензол, пропан, ацетилен и др.) Углеводороды – органические соединения, молекулы которых построены только из атомов углерода и водорода, являются токсичными веществами. В выхлопных газах содержится более 200 различных C_nH_m которые де-

лятся на алифатические (с открытой или закрытой цепью), содержащие бензольное или ароматическое кольцо. Ароматические углеводороды содержат в молекуле один или несколько циклов из 6 атомов углерода, соединенных между собой простыми или двойными связями (бензол, нафталин, антрацен и др.). Имеют приятный запах. Наличие C_nH_m в отработавших газах двигателей объясняется тем, что смесь в камере сгорания является неоднородной, поэтому у стенок, в переобогащенных зонах, происходит гашение пламени и обрыв цепных реакций.

Углеводороды могут являться причиной многих хронических заболеваний. Токсичны также и пары топлив. Допустимая среднесуточная концентрация, например, паров бензина составляет 1,5 мг/м³. Содержание C_nH_m в выхлопных газах возрастает при дросселировании или при работе двигателя на режимах принудительного холостого хода. При работе двигателя на указанных режимах ухудшается процесс смесеобразования, уменьшается скорость сгорания, ухудшается воспламенение топливной смеси.

Выделение углеводородов вызывается также неполным сгоранием топливной смеси, если до конца сгорания остаются места с сильным локальным недостатком воздуха, недостаточным распыливанием топлива, при неудовлетворительном завихрении воздушного заряда и низких температурах (например, режим холостого хода).

Углеводороды образуются в переобогащенных зонах, где ограничен доступ кислорода, а также вблизи сравнительно холодных стенок камеры сгорания.

Углеводороды играют активную роль в образовании биологически активных веществ, вызывающих раздражение глаз, горла, носа и их заболевание, и наносящих ущерб растительному и животному миру. Углеводородные соединения оказывают наркотическое действие на центральную нервную систему, могут являться причиной хронических заболеваний, а некоторые ароматические углеводороды обладают отравляющими свойствами. Углеводороды (олефины) и оксиды азота при определенных метеорологических условиях активно способствуют образованию смога.

Сажа – канцероген, который приводит к образованию злокачественных опухолей.

Пыль – частицы пыли размером менее 10 мкм, вызывают дерматиты, конъюнктивиты, болезни дыхательной системы.

В авиации нормы предельно допустимых выбросов (ПДВ) устанавливаются в настоящее время на четыре вредных компонента: окись углерода CO , несгоревшие углеводороды C_nH_m , оксиды азота NO_x ,

частицы сажи (дым). Кроме того, запрещается преднамеренный выброс в атмосферу топлива.

Выбросы загрязняющих веществ, определенные для типа двигателей, в целом не должны превышать значений, приведенных в табл. 1.

Таблица 1
Выбросы загрязняющих веществ

Загрязняющие вещества	Характеристика выброса загрязняющего вещества	Норма
Твердые частицы, преимущественно сажа (дым)	Параметр выброса сажи (D)	$83,6 (R_{взл})^{-0,274}$ - для двигателей с $R_{взл} > 6,53$ кН
		50 - для двигателей с $R_{взл} \leq 6,53$ кН
Несгоревшие углеводороды (C_xH_y)	Удельная масса выброса (w_j) г/кН	19,6
Окись углерода (CO)		118
Окислы азота (NO_x)		$40 + 2 \pi$

В табл. 1 приняты обозначения: $R_{взл}$ - расчётная сила тяги двигателя на максимальном режиме, для двигателей данного типа при статических условиях международной стандартной атмосферы (МСА) на уровне моря без впрыска воды, кН; π - степень повышения давления за компрессором на максимальном режиме работы двигателя.

Эмиссия оксида углерода CO , несгоревших углеводородов C_nH_m и частиц углерода (сажи) – результат неполного сгорания топлива в двигателе.

Эмиссия оксидов азота NO_x – следствие высокой температуры в зоне горения топлива, при которой становится возможным окисление содержащегося в воздухе азота.

Количественно эмиссия вредных веществ характеризуется индексами эмиссии отдельных компонентов (число граммов компонента на 1 кг израсходованного топлива) [4].

Индексы CO и C_nH_m тем больше, чем ниже температура и давление в камере сгорания. Они максимальны при рулении самолёта, на взлёте достигают минимума и остаются близкими к минимуму во всех полётных фазах.

Для NO_x закономерность обратная – индекс максимален на взлёте. Снижение эмиссии CO , C_nH_m и сажи обеспечивается улучшением распыливания и распределения топлива в камере и ускорением пе-

ремешивания его с воздухом. Уменьшение индекса NO_x достигается дополнительными мерами, например, сжиганием топлива в два этапа для выравнивания распределения температуры по длине камеры сгорания и устранения зон с наиболее высокой температурой.

Эмиссия вредных веществ снижается с повышением топливной экономичности авиационного двигателя, то есть с уменьшением расхода топлива на создание единицы мощности.

Руководящие документы ИКАО [34] ограничивают выброс загрязняющих веществ:

- оксиды углерода (CO_x);
- оксиды азота (NO_x);
- сажа (NS);
- несгоревшие углеводороды (C_nH_m).

Ограничения концентрации определяют безопасную границу для людей, что определяет размеры санитарно-защитной зоны ($C33$). В Санитарно-эпидемиологических правилах отмечается, что территория $C33$ устанавливается в каждом конкретном случае на основании расчётов.

Существуют различные методы мониторинга и анализа степени загрязнения атмосферного воздуха, полученного в результате сгорания авиационного топлива.

Широко используется методика, разработанная ЗАО “Центр экологической безопасности гражданской авиации”, основана на использовании индексов эмиссии, – отношение количества граммов загрязняющего вещества на килограмм сгоревшего топлива. В расчёте используются полуэмпирические соотношения, не учитывающие ряд факторов, таких как: движение воздушного судна по взлетно-посадочной полосе (ВПП), метеорологические условия, преобладающие на территории конкретного аэропорта.

Степень загрязнения прилегающих к аэродромам и аэропортам территорий может быть также оценена на основании экспериментальных исследований с последующим расчётом индексов эмиссии по полуэмпирическим соотношениям согласно методике. В методике более точно определяется количество загрязняющих веществ, но не отражается картина изменения концентрации на разных этапах взлётно-посадочных операций, когда их значения могут быть максимальными. При таком подходе не учитывается траектория движения самолета, скорость и направление ветра. Результаты расчёта представляются в количественном виде, без информации о пространственном положении зон загрязняющих веществ на территории аэродрома и прилегающих к нему территориях, не учитывается взаимодействие реактивных струй с окружающей средой.

Исследования загрязнений атмосферы с помощью летающих лабораторий

Для экспериментальных исследований эмиссии конденсационных следов используются летающие лаборатории на базе вертолета Ми-17, самолётов Ту-134, Ан-12, Ту-154, Су-24 МР и др. Все летающие лаборатории оснащены системами отбора проб воздуха, системами определения концентрации газов CO , NO_x , H_xC_y , SO_2 , O_3 и аэрозолей. Все системы контроля, установленные на борту летающих лабораторий, работают в текущем масштабе времени. В состав лаборатории входит система накопления информации, система обработки и отображения информации на борту.

Летающая лаборатория на базе Ми-17ЛИЗА (рис. 2) обеспечивает:

- исследования характеристик факелов выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями;



Рис. 2. Летающая лаборатория на базе вертолёта Ми-17

- исследования регионального и трансграничного переноса загрязняющих веществ в атмосфере;
- фоновый мониторинг загрязнения атмосферы в трехмерном пространстве над территориями населённых пунктов, промышленных зон, заповедников и других регионов;
- оперативную оценку размеров экологического бедствия при стихийных и техногенных катастрофах.



Рис. 3. Летающая лаборатория на базе самолёта Су-24МР

Летающая лаборатория на борту Ту-134А предназначена для исследований физико-химических процессов в вихревом следе за самолётом прямым зондированием и определения фазового состава конденсационного следа в тропосфере.

В 1998 ... 2000гг. проведены исследования по оценке влияния эмиссии авиационных двигателей на загрязнение атмосферы в условиях крейсерского полёта. Лаборатория размещалась на борту самолёта Су-24МР-1113 (рис. 3) в контейнерах на внешних узлах подвески. Летающая лаборатория оснащена: системой отбора и накопления проб атмосферного воздуха, приборами измерения температуры, влажности и турбулентности атмосферного воздуха.

Таким образом, экспериментальные данные, получаемые с помощью инструментальных методов и методик, позволяют сформулировать постановку задачи, математическую модель и разработать методику расчета характеристик конденсационных следов летательных аппаратов.

Методы математического моделирования турбулентных струй и вихревых следов

Теоретические исследования турбулентных струй и вихревых следов проводятся с использованием аналитических и численных методов.

Изучение турбулентных струй и следов является актуальной задачей механики жидкости и газа. Исследования физических процессов при истечении струй из насадков и реактивных сопел авиационных двигателей, их интерференция с поверхностями раздела сред связаны с решением прикладных задач, таких как:

- истечение струй в затопленное пространство;
- интерференция струй, истекающих из реактивных сопел авиационных двигателей, с элементами планера и летательного аппарата в целом;
- струйная механизация несущих поверхностей;
- перенос многофазных примесей реактивными струями;
- акустические характеристики реактивных струй.

Процесс обтекания различных тел сопровождается генерацией спутного следа, что сказывается на характеристиках возмущённого движения среды, вызывающее нестационарность её течения. Существующие подходы к математическому моделированию и исследованию турбулентных струй и следов позволяют получать осреднённые характеристики таких течений, как правило, они базируются на решении уравнений Рейнольдса. Решение уравнений Рейнольдса с различными гипотезами их гидродинамического замыкания базируется на конечно-разностных схемах, обеспеченных эмпирическими выражениями, что снижает эффективность этого метода при рассмотрении нестационарных течений.

Численные методы прямого решения, основанные на решении уравнений Навье-Стокса, позволяют получать значительный объём статистической информации об изучаемом течении жидкости или газа. Однако такие численные методы связаны с большими трудностями при создании математической модели течения, где наблюдаются большие числа Рейнольдса [3].

При рассмотрении течений жидкости или газа с большими значениями чисел Рейнольдса наблюдаются пульсации параметров, характеризующих рассматриваемый поток. Крупномасштабная турбулентность возмущённого потока определяется геометрическими характеристиками обтекаемого тела, режимом его обтекания, состоянием среды. Мелкомасштабная турбулентность возмущённого потока может быть описана универсальными закономерностями.

В обширной области аэродинамики и гидродинамики, где определяющими режим и характер течения среды являются вихревые следы и струи, метод дискретных вихрей (МДВ) [5] является адекватным методом математического моделирования изучаемых течений. МДВ является удобным и эффективным объединением физики, математики и численного эксперимента [6].

Выводы

Таким образом, в результате обзора основных факторов, влияющих на формирование, развитие спутного и вихревого следов, эмиссии конденсационных следов за летательными аппаратами, а также существующих методов их исследования, видно, что изучение характеристик конденсационных следов является актуальной задачей. Рассмотренные методы исследований конденсационных следов за летательными аппаратами обладают, как достоинствами, так и недостатками, однако, при изучении характеристик конденсационных следов, они не исключают

друг-друга, а пополняют информацию об изучаемых явлениях.

Литература

1. Alekseev, S. *Wake vortex projects in Russia and status of WakeNet Russia [Text]* / S. Alekseev, A. Belotserkovskiy, M. Kanevskiy // *Europe Workshop, 2010. Toulouse, France.* – 16 p.
2. Paoli, R. *Contrail formation in aircraft wakes [Text]* / R. Paoli, J. Helie, T. Poinso // *J. Fluid Mech.* – 2004. – Vol. 502. – P. 361–373.
3. Белоцерковский, С.М. *Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях и их применение в аэродинамике, теории упругости, электродинамике [Текст]* / С. М. Белоцерковский, И. К. Лифанов. – М.: Наука, 1985. – 252 с.
4. Соловьёв, О. В. *Анализ процесса формирования вихревых следов за летательным аппаратом [Текст]* / О. В. Соловьёв, В. Н. Кобрин, В. В. Чмовж // *Системи озброєння і військова техніка: зб. наук. праць.* – Вип. 2 (34). – X., ХУПС, 2013. – С. 93–98.
5. Соловьёв, О. В. *Структура вихревых следов и их воздействие на летательные аппараты [Текст]* / О. В. Соловьёв, П. В. Прусак, Н. В. Кобрин // *Авиационно-космическая техника и технология* – 2015. – № 3 (120). – С. 41–49.
6. Соловьёв, О. В. *Методы изучения характеристик дальнего вихревого следа [Текст]* / О. В. Соловьёв, С. М. Ерёмко, В. В. Чмовж // *Наука і техніка повітряних сил Збройних Сил України.* – 2013. – 4 (13). – С. 26–29.

References

1. Alekseev, S., Belotserkovskiy, A., Kanevskiy M. *Wake vortex projects in Russia and status of WakeNet Russia. Europe Workshop, France, Toulouse Publ., 2010. 16 p.*
2. Paoli, R., Helie, J., Poinso, T. *Contrail formation in aircraft wakes. J. Fluid Mech., 2004, no. 502, pp. 361-373.*
3. Belocerkovskij, S. M., Lifanov, I. K. *Chislennyye metody v singuljarnyh integral'nyh uravnenijah i ih primenenie v ajerodinamike, teorii uprugosti, jelektrodinamike* [Numerical methods for singular integral equations and their applications in aerodynamics, theory of elasticity, electrodynamicity]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 252 p.
4. Solov'ev, O. V. Kobrin, V. N., Chmovzh, V. V. *Analiz protsessu formirovaniya vikhrevykh sledov za letatel'nyim apparatom* [Analysis of forming wake vortex process behind aircraft]. *Weapons systems and military equipment.* Kharkiv, Kharkiv Air Force University Publ., 2013, vol. 2, no. 34, pp. 93-98.
5. Solov'ev, O. V. Prusak, P. V., Kobrina, N. V. *Struktura vikhrevykh sledov i ikh vozdeistvie na letatel'nye apparaty* [Wakes structure and their impact on

aircraft]. *Aerospace Engineering and Technology*, 2015, vol. 3, no. 120, pp. 41-49.

6. Solov'ev, O. V., Eremenko, S. M., Chmovzh V. V. Metody izucheniya kharakteristik dal'nego vik-

hrevogo sleda [Methods of descriptions study of distant vortex wake]. *Science and technology the Air Force of Ukraine*, 2013, vol. 4, no. 13, pp. 26-29.

Поступила в редакцию 30.03.2016, рассмотрена на редколлегии 14.04.2016

КОНДЕНСАЦІЙНІ СЛІДИ, МЕТОДИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

В. В. Соколова

Розглядаються проблеми, пов'язані з впливом літальних апаратів на навколишнє середовище. Показано формування і розвиток конденсаційного сліду за літальним апаратом. Розглянуто фази емісії конденсаційного сліду за літальним апаратом і їх вплив на навколишнє середовище. На базі цих досліджень показано актуальність розробки єдиного підходу в оцінці ступеня вихрової безпеки польотів в районі великих аероузлів та емісії авіаційних двигунів як при виконанні злітно-посадкових операцій, так і при польотах по повітряних трасах на крейсерських режимах.

Ключові слова: літальний апарат, спутний слід, конденсаційні сліди, емісія.

CONDENSATION TRAILS OF AIRCRAFTS, RESEARCH METHODS

V. V. Sokolova

The problems associated with the impact of aircraft on the environment. The formation and development of the condensation trail behind the aircraft. Considered phase condensation trails of aircraft emissions and their impact on the environment. Based on these studies, the urgency of developing a common approach to assess the extent of the vortex flight safety in the area of large airfield complex and aircraft engine emissions, both in the performance of runway operations, and during flights on airways in cruising mode.

Keywords: aircraft, wake turbulence, condensation trails, emissions.

Соколова Виктория Викторовна – соискатель каф. аэрогидродинамики, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Sokolova Victoria Viktorovna – Applicant of Aerodynamics Departments, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkov, Ukraine.