

doi: 10.32620/oikit.2020.87.04

УДК 621.9.7

С.А. Филь, А.В.Бондарчук, Т.Л. Гоптарь

Анализ основных причин для модификации самолётов транспортной категории установкой электрической силовой установки

Государственное предприятие "АНТОНОВ"

В настоящее время актуальной является проблема снижения уровня загрязнения окружающей среды. В особенности, важным является вопрос загрязнения окружающей среды вредными выбросами от двигателей внутреннего сгорания. Самолёт загрязняет окружающую среду вредными выбросами и шумом, основным источником которых является авиационный двигатель внутреннего сгорания. Вредные выбросы негативно влияют на окружающую среду путём изменения климата, что в свою очередь, негативно сказывается на возможности нормальной жизнедеятельности человека и фауны.

Выполнено: а) анализ состава вредных выбросов авиационных двигателей и определён механизм воздействия составляющих на атмосферу и человека; б) сравнение с точки зрения экологичности последние модификации дальнемагистральных самолётов Boeing 747 и Airbus A380; в) анализ состава авиационного шума и последствий его воздействия на живые организмы.

Для снижения негативного воздействия на атмосферу от авиационного сектора, ИКАО было разработано методика снижения количества выбросов и излучаемого шума. Методика предусматривает ужесточение количественных критериев для сертификации новых летательных аппаратов, в сравнении с рекомендациями, действующими сегодня. Для выполнения требований, разработанных ИКАО сейчас и в будущем необходимо постоянно совершенствовать технологии сгорания топлива, разработка которых повлечёт большие затраты, сопоставимые с ценой разработки полностью нового типа силовой установки.

С этой целью был выполнен анализ преимуществ и недостатков оснащения самолётов транспортной категории гибридной, электрической или на основе топливных элементов силовой установкой. Был выполнен расчёт потребной ёмкости электрических аккумуляторов в случае замены типа силовой установки на самолёте Ан-28 с газотурбинной на электрическую силовую установку для выполнения учебно-тренировочных полётов до 25 минут с выбросом парашютистов.

Ключевые слова: вредные выбросы авиационного двигателя внутреннего сгорания; авиационный шум; двигатель по схеме открытый ротор; U-образное оперение; гибридная силовая установка; электрическая силовая установка; электрический самолёт; гибридный самолёт.

Введение

Самолёт — это воздушное судно, тяжелее воздуха, предназначенное для выполнения различных задач в пределах атмосферы использующее аэродинамический принцип полета. Упрощённо можно считать, что самолёт – это планер, к которому присоединили двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и другие системы необходимые, для полного функционирования и выполнения поставленных ему задач.

Основная функция ДВС – преобразовать топливо в силу, необходимую летательному аппарату (ЛА) для преодоления сил гравитации и сопротивления воздуха, позволяя ему взлететь и продолжать полёт до места назначения. Смежной функцией ДВС является выработка энергии, необходимой для правильного функционирования систем, обеспечивающих полет. Сегодня, основ-

ным видом топлива для работы авиационных ДВС используется керосин, который получают путём ректификации нефти, запасы которой на планете – ограничены.

Наибольшие запасы нефти у Венесуэлы – 298,3 млрд баррелей, Саудовская Аравия на втором месте и запасы страны равны 265,8 млрд баррелей. На третьем месте Канада – 174,3 млрд баррелей. Далее следуют Иран и Ирак, с запасами, равными 157 и 150 млрд баррелей соответственно. На шестом месте Кувейт, с запасом, равным 101,5 млрд баррелей. Суммарно на сегодняшний день, на планете разведано около 1688 млрд баррелей нефти. При текущих объемах доказанных запасов и объемах добычи человечеству хватит нефти не более чем на 50 лет. [1] После выкачки легкоизвлекаемой нефти, цена на нефть будет повышаться из-за дороговизны технологий добычи трудноизвлекаемой нефти (в низкопроницаемых коллекторах, остаточных запасах выработанных месторождений, и добыче в месторождениях, находящихся в удаленных и труднодоступных районах).

ДВС сжигая топливо, наносит огромный вред окружающей среде в виде вредных выбросов (углекислый газ, водяной пар, диоксид серы, оксид азота и др.), и шумового загрязнения (шум от воздушного винта и ДВС).

Среди загрязнителей атмосферы углекислым газом, авиационный транспорт (АТ) занимает практически последние позиции среди остального вида транспорта, но авиастроительная индустрия постоянно развивается и темпы производства конкретных ЛА возрастают, и АТ может повысить уровень участия в загрязнении. Загрязнение атмосферы отработанными газами приближает глобальное потепление. Авиационный шум, наносит раздражительный вред и в первую очередь страдают, живущие у аэропортов люди и животные.

Для защиты окружающей среды от воздействия АТ, необходимо совершенствовать ДВС с точки зрения вредных выбросов и шума. Комитетом Международной организации коммерческой авиации (ИКАО) по охране окружающей среды от воздействия авиации (САЕР), были подготовлены рекомендации по сертификации на соответствие стандарту на эмиссию (Том II). Согласно тому I, рекомендации будут вводиться в 4 этапа: 2020, 2023, 2025 и 2028 годы.

Для борьбы с шумовым загрязнением были также выпущены рекомендации в виде Тома I. А в 2010 году Европейская комиссия определила Концепцию Европейской Авиации «Flightpath 2050» в Европе, поставив цель – сократить воспринимаемый шум на 65 % до 2050 года в сравнении с уровнем в 2000 году.

Для частичного снижения и предотвращения влияния на окружающую среду АТ, и снижения степени участия в загрязнении окружающей среды, предлагаются варианты силовой установки (СУ): ДВС с двигателем по схеме открытого ротора, на основе топливных элементов – водородные (VoСУ), а также гибридные (ГСУ) и электрические (ЭСУ) СУ.

1. Самолет с ДВС как участник загрязнения атмосферы

Большинство ЛА оснащают ДВС работающими за счет сжигания керосина (жидкая, горючая смесь углеводородов – 86% и водорода 14%).

Сжигая керосин, ДВС производит вредные выбросы и шумовое загрязнение. Вредные выбросы влияют на следующие слои атмосферы:

- приземной слой – воздействие на обитающие организмы;

- верхняя тропосфера, являющаяся оптимальной высотой для крейсерского полёта ЛА ($H=10$ км) – наибольшее влияние на изменение климата и снижение концентрации озона равно 50 %;
- нижняя стратосфера, где летают сверхзвуковые ЛА и в перспективе будет летать коммерческая авиация (КА) ($H=15-30$ км) – влияние на истощение озонового слоя планеты, причём, снижение концентрации озона составляет 3 % на $H=20$ км, до 23% на $H=30$ км.

На рисунке 1 показан подробный состав выбросов современного двухдвигательного, среднемагистрального самолета на 150 пассажиров, пролетевшего 1 час полета.

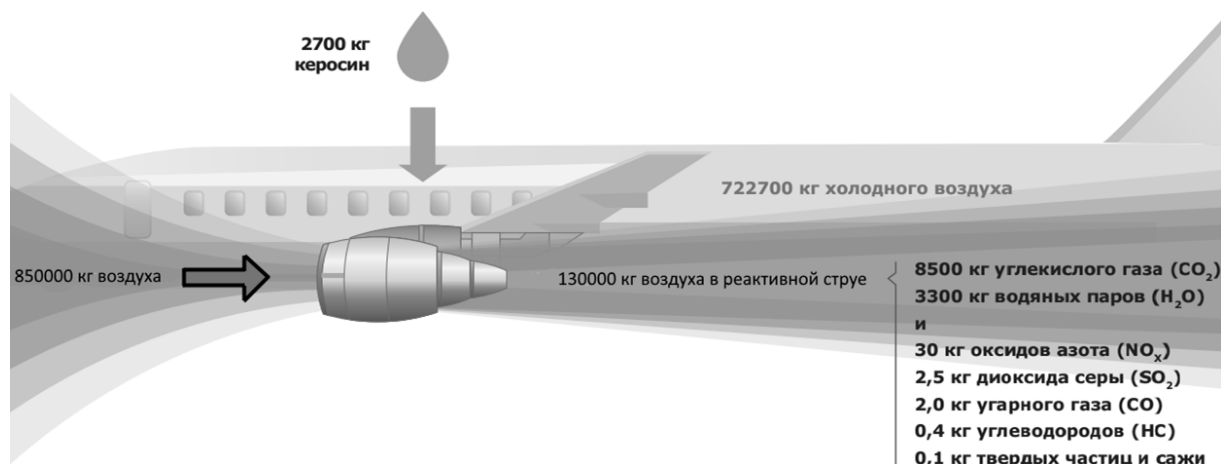


Рис. 1. Состав выбросов самолета за 1 час полета

Рассматривая подробнее составляющие выбросов ДВС, в первую очередь необходимо рассмотреть углекислый газ CO_2 , из-за специфики воздействия на окружающую среду и человеческий организм.

Углекислый газ CO_2 способствует повышению температуры окружающей среды создавая парниковый эффект. CO_2 является стабильным и распределяется вокруг земного шара; легко мигрирует не только в горизонтальном, но еще и в вертикальном направлении, именно поэтому, нет никакой разницы, где он образовался, на земле, во время запуска АД, движения по взлётно-посадочной полосе (ВПП), ожидания разрешения на взлёт или во время выполнения крейсерского полета – сообщает директор Института физики атмосферы Немецкого аэрокосмического центра, профессор Ульрих Шуман [2]. Из-за избытка CO_2 у человека возникает головная боль и слабость. Также CO_2 является причиной заболевания дыхательных путей.

Пары воды H_2O образуют конденсационные следы. Вода сохраняется в тропосфере примерно 9 дней, а в стратосфере может оставаться несколько месяцев или даже лет. Образовавшееся накопление паров воды, провоцирует изменение процесса теплообмена.

Азот N вносит возмущения в химический состав атмосферы, что приводит к росту количества озона O_3 в тропосфере. Это способствует подогреву атмосферы, провоцируя парниковый эффект. На оксиды азота NO_x приходится около 6 % глобального потепления. Парниковая активность закиси азота примерно в 298 раз выше, чем у углекислого газа. Оксиды азота поднимаются в атмосферу и смешиваются с парами воды – образовывается смог и кислотные

дожди [3].

Диоксиды серы SO_2 – бесцветный газ с резким запахом. SO_2 принимает участие в образовании кислотных дождей, обладает свойством поглощения света в ультрафиолетовой области. Длительное воздействие диоксида серы на человека приводит к потере вкусовых ощущений, утяжелённому дыханию.

Оксид углерода CO – бесцветный, не имеющий запаха газ, образующийся из-за неполного сгорания топлива; недостаточного количества кислорода и низкой температурой воспламенения. Газ не обладает сильным парниковым эффектом и на окружающую среду влияет – косвенно. В реакции с гидроксидами образуется углекислый газ, повышающий температуру окружающей среды и увеличивающий концентрацию метана CH_4 . Оксид углерода постепенно накапливается в организме, блокирует поступления кислорода в кровь и является одной из главных причин образования онкозаболеваний.

Сажа или чёрный углерод – это твёрдые частицы, состоящие из чистого углерода, являющиеся продуктом неполного сгорания топлива, которые поглощают солнечную радиацию. Сажа оказывает отрицательное влияние на здоровье человека и экосистемы. Чёрный углерод попадает в организм вместе с воздухом, водой и пищей. Воздействие частиц сажи, приводит к возникновению респираторных, кардиоваскулярных и онкологических заболеваний и снижает урожайность почвы.

Чёрный углерод воздействует на окружающую среду тремя путями [4]:

- прямой эффект – поглощая солнечную радиацию, во всех длинах волн, способствуя прогреву атмосферы;
- снижение отражающей способности снега – загрязняет и снижает отражающую способность снега и льда;
- загрязнение облаков – это сказывается на количестве осадков и отражающих способностях.

Перечисленные выше составляющие вредных выбросов, наносят наибольший вклад в загрязнение атмосферы вредными выбросами, от АТ. Для возможности сравнения наиболее популярных ЛА, оснащённых турбореактивными двухконтурными двигателями (ТРДД) по критерию минимальный расход топлива и количество вредных частиц в выбросах за суммарный цикл «взлёт-посадка», была составлена таблица 1 с использованием данных ИКАО по выбросам АД [5].

Анализируя таблицу 1, можно сделать следующие выводы:

- наименьшим расходом топлива обладают самолёты типа Ан-148, оснащённые двигателями ЗМКБ Д436-148ФМ;
- минимальным количеством углеводородов и углекислого газа в выбросах, обладают самолёты Bombardier CSeries, оснащённые двигателями PW1524G;
- минимальным количеством оксидов азота в выбросах, обладают самолёты Sukhoi Superjet 100, оснащённые двигателями SaM 146-1S17;
- показатель дымности наименьший у самолётов Boeing 787 Dreamliner, оснащённых двигателями GE GEnx-1B70.

За сутки на территории современного аэропорта в результате его производственной деятельности, на квадратном метре образуются осадки, состоящие из $250 \div 375$ кг углекислого газа, $75 \div 125$ кг углеводородов и $12,5 \div 20$ кг оксидов азота [6].

Таблица 1

Количество выбросов некоторых АД, устанавливаемых на популярные самолёты

—	Марка двигателя	CFM LEAP-1A/C	CFM LEAP-1B	Pratt&Whitney PW1524G	GE GENx-1B70	Rolls-Royce Trent XWB-84	Sukhoi Superjet 100	3МКБ Д436-148ФМ
Технические характеристики	Тип двигателя	ТРДД	ТРДД	ТРДД	ТРДД	ТРДД	ТРДД	ТРДД
	Степень двухконтурности, m	10,5-10,8	8,6	11,05	8,8	9,01	4,44	4,9
	Степень повышения давления	38,6	41,5	38,67	43,9	41,09	21,85	20,73
	Максимальная тяга, кН	143,1	130,4	108,53	321,6	379	69,21	68,72
Расход топлива	Взлет, кг/с	1,058	1,061	0,79	2,504	2,819	0,791	0,581
	Набор высоты, кг/с	0,864	0,864	0,65	2,042	2,306	0,653	0,493
	Заход в зону аэродрома, кг/с	0,282	0,277	0,23	0,654	0,801	0,228	0,225
	Режим холостого хода, кг/с	0,096	0,098	0,08	0,213	0,291	0,097	0,099
	Суммарно за цикл взлет-посадка, кг	376	378	299	865	1069	326	274
—	Применяемость	Airbus A320neo	Boeing B737 MAX	Bombardier CSeries	Boeing B787	Airbus A350-900	Sukhoi Superjet 100	Антонов Ан-148
Количество углеродов (C ₈ +C ₁₅) HC в выбросах	Взлет, г/кг	0,05	0,05	0,1	0,02	-	0,03	0,09
	Набор высоты, г/кг	0,02	0,04	0,1	0,02	-	0,04	0,05
	Заход в зону аэродрома, г/кг	0,04	0,05	0,1	0,05	-	0,06	0,08
	Режим холостого хода, г/кг	0,22	0,57	0,1	0,44	0,94	1,05	1,39

—	Марка двигателя	CFM LEAP-1A/C	CFM LEAP-1B	Pratt&Whitney PW1524G	GE GENx-1B70	Rolls-Royce Trent XWB-84	Sam 146-1S17	ЗМКБ Д436- 148ФМ
Количество углекис- лого газа CO ₂ в вы- бросах	Суммарно за цикл взлет- посадка, г	40	97	30	162	424	167	—
	Взлет, г/кг	0,3	0,18	0,1	0,06	0,39	0,26	0,48
	Набор высоты, г/кг	0,23	0,14	0,1	0,17	0,39	0,36	0,4
	Заход в зону аэродрома, г/кг	1,86	1,2	1,6	1,82	1,2	5,07	2,71
	Режим холостого хода, г/кг	18,69	14,62	13	14,78	20,66	29,36	19,56
Количество оксидов азота NO _x в выбросах	Суммарно за цикл взлет- посадка, г	2964	2339	1719	5256	9760	4776	—
	Взлет, г/кг	54,13	60,67	28,1	34,77	45,48	16,37	19,76
	Набор высоты, г/кг	19,53	29,58	21,2	20,87	34,53	13,89	16,64
	Заход в зону аэродрома, г/кг	9,82	11,24	11,1	11,02	11,46	7,1	7,31
	Режим холостого хода, г/кг	4,85	4,64	6,1	4,85	4,73	3,73	3,78
Количество дыма SN в вы- бросах	Суммарно за цикл взлет- посадка, г	6024	7534	4125	12629	20243	2695	—
	Взлет, г/кг	1,1	0,94	3,4	0,18	5,8	12,6	6,7
	Набор высоты, г/кг	1,2	0,85	2,8	0,15	6,4	11,7	—
	Заход в зону аэродрома, г/кг	1,3	1,07	2,4	0,25	6,6	0,1	—
	Режим холостого хода, г/кг	1,3	0,8	2,5	0,06	1,2	0,1	—

Таким образом, влияние вредных выбросов на атмосферу от АТ можно рассматривать как сложный процесс, последовательных воздействий на состав атмосферы: положительных (повышение температуры) и отрицательных (снижение температуры) действий.

2. Ограничение вредных выбросов

В главе 2 тома II Приложения 16 описываются Стандарты, введенные ИКАО, относящиеся ко всем самолётам, за исключением специализированных, таких как амфибии или самолётов специально сконструированных, модифицируемых для выполнения особых эксплуатационных требований, а также самолётов для борьбы с пожарами [7].

Требования распространяются на следующие самолёты и их модификации:

1. дозвуковые с максимальной взлётной массой (Maximum take-off mass (MTOM)) более 5,7 т. Исключением являются самолёты с MTOM=60 т и максимальной пассажироемкостью 19 мест и менее. Или винтовые самолёты с MTOM>8,618 т. Если заявка на сертификат типа была подана 1 января 2020 года или позже;

2. дозвуковые с $5,7 > \text{MTOM} \leq 60$ т или менее и максимальной пассажироемкостью 19 мест или менее, если заявка на сертификат типа была подана 1 января 2023 года или позже;

3. модифицированные варианты самолётов с турбореактивными (ТРД) и турбовинтовыми двигателями (ТВД), которые не сертифицированы по CO_2 : для самолётов с ТРД, если MTOM>5,7 т и для самолётов с ТВД, если MTOM>8,618 т, если заявка на сертификацию изменения в конструкции была подана 1 января 2023 года или позже;

4. не сертифицированные самолёты с ТРД или ТВД. Для самолётов с ТРД, если MTOM>5,7 т, и для самолётов с ТВД, если MTOM>8,618 т, если сертификат летной годности был впервые выдан 1 января 2028 года или позже.

Для снижения уровня участия КА в процессе роста средней температуры окружающей среды, необходимо выполнять ужесточение норм на выбросы. Динамика ужесточения требований на эмиссию NO_x АД показан на рисунке 2.

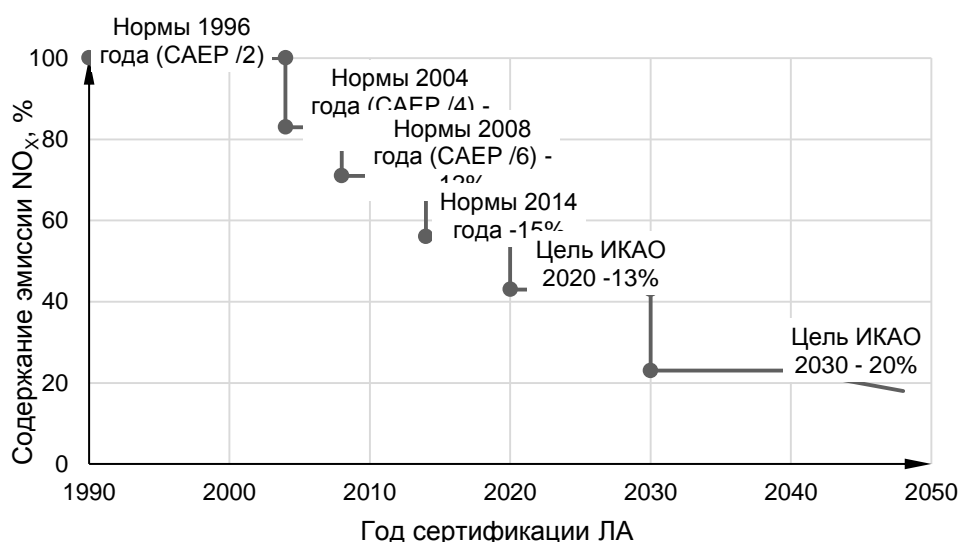


Рис. 2. Динамика ужесточения норм на эмиссию NO_x АД

Исходя из графика на рисунке 2, можно сделать вывод, что ИКАО планирует к 2030 году снизить количество эмиссии NOX на 60 %, относительно 1990 года.

3. Шумовое загрязнение жилых зон самолётами с ДВС

Шум как физический фактор представляет собой механическое колебательное движение упругой среды, распространяющееся по волнообразному закону. Шумовое загрязнение – это превышение естественного уровня шумового фона или ненормальное изменение звуковых характеристик: периодичности, силы звука и пр. Шумовое загрязнение входит в тройку самых значительных экологических нарушений в мире. С ростом урбанизации, шум стал неотъемлемой частью человеческой жизни и одним из существенных параметрических загрязнителей городской среды. Для комфортного самочувствия человека, во время дневного времени суток (с 7 до 23 часов) значение уровня шума не должно превышать 75 дБА, а в ночное время суток (с 23 до 7 часов) не выше 65 дБА.

Шум, производимый АТ, состоит из шума, возникающего из-за работы авиационного ДВС, вращения воздушного винта и шума обтекания планера – аэродинамический шум. Особое место занимает проблема звукового удара для сверхзвуковой АТ. Возмущения от самолёта, пролетающего на транс- ($M \approx 0,75 \div 1,2$), сверх- ($M \approx 1 \div 5$) и гиперзвуковых ($M \approx 5 \div 10$) скоростях, меняются – скачкообразно и воспринимаются человеком как взрыв, либо каскад взрывов (в зависимости от системы скачков (прямых, косых или отсоединённых), сформированных на несущих поверхностях самолёта).

Наибольшее значение шума в системе ЛА производят авиационные ДВС. Сегодня, ЛА в основном оснащаются двумя типами ДВС:

- ТРДД и их разновидности – шум состоит из шума механизмов и газовой струи;

- ТВД – шум состоит из шума от вращения воздушного винта в воздушной среде, шума механизмов, а также шума газовой струи.

На различных режимах полета, преобладают различные источники шума:

- взлёт: преобладает шум турбины, камеры сгорания (КС), механизмов двигателя и реактивной струи;

- крейсерский полёт: шум, вызванный турбулентным обтеканием планера, шум компрессора и клапанов перепуска воздуха;

- посадка: шум, возникающий из-за обтекания планера, механизации крыла и стоек шасси в посадочной конфигурации – мощные турбулизаторы, которые превышают уровень шума двигателя.

Шумовое загрязнение быстро вызывает нарушение естественного баланса в экосистемах, ориентирование в пространстве, например, во время поиска пищи животными, а также быть причиной прочих нарушений нормальной жизнедеятельности. Влияние шума сказывается на функциях эндокринной и иммунной систем организма, в частности это может проявляться в виде снижения иммунитета к инфекционным болезням.

В таблице 2 описаны последствия при длительном влиянии определенного уровня шума на человека.

Таблица 2

Реакция организма при длительно влиянии, в зависимости от уровня шума

Уровень шума, дБА	Реакция организма
>150 – ударная волна от сверхзвукового самолета	Возможен разрыв барабанных перепонок
>140 – старт ракеты	Вибрации в мягких тканях носа и горла, а также в костях черепа и зубах
~140 – взлёт самолёта с ТРДД	Вибрации в грудной клетке, мягких тканях носа и горла, костях черепа и зубах, мышцы рук и ног, появляются боль в ушах, голове, проявляется крайняя усталость и раздраженность
~130 – самолёт с ТРДД на старте	
~105-120 – самолёт с ТВД	Ухудшение слуха средней и сильной степени, нервно-психический стресс, гипертония, нарушение сна
~110 – вертолёт	

Таким образом, шумовое загрязнение – это раздражающий шум антропогенного происхождения, нарушающий жизнедеятельность живых организмов и человека [8].

4. Нормирование авиационного шума

Так как шум, является опасным для нормальной жизнедеятельности живых организмов, в приаэропортовых зонах, его необходимо контролировать. Самолётов становится всё больше, а значит и шума больше, поэтому в ИКАО был разработан документ, нормирующий шумовое загрязнение от КА.

В 2013 году, 38-я Ассамблея ИКАО, утвердила рекомендации САЕР о введении более жестких требований к самолетам, проходящим сертификацию. Ограничения будут введены в 2 этапа: 31 декабря 2017 года – для самолётов с МТОМ>55т; 31 декабря 2020 года – для самолётов с МТОМ<55 т.

Сертификационные нормы на шум ЛА, изложены в Приложении 16 к Конвенции о международной КА, Томе I, рассматриваются нормы для сертификации следующих типов ЛА:

- дозвуковые самолёты с ТРД, МТОМ<55 т; МТОМ>55 т;
- самолёты с ТВД, МТОМ<8,618 т; МТОМ>8,618 т, но МТОМ<55 т;
- вертолёт с МТОМ<3,175 т;
- вспомогательных силовых установок;
- ЛА с поворотными несущими винтами - конвертопланы;
- сверхзвуковых самолетов.

На рисунке 3 показана динамика ужесточения предельно допустимого уровня шума в зависимости от МТОМ.

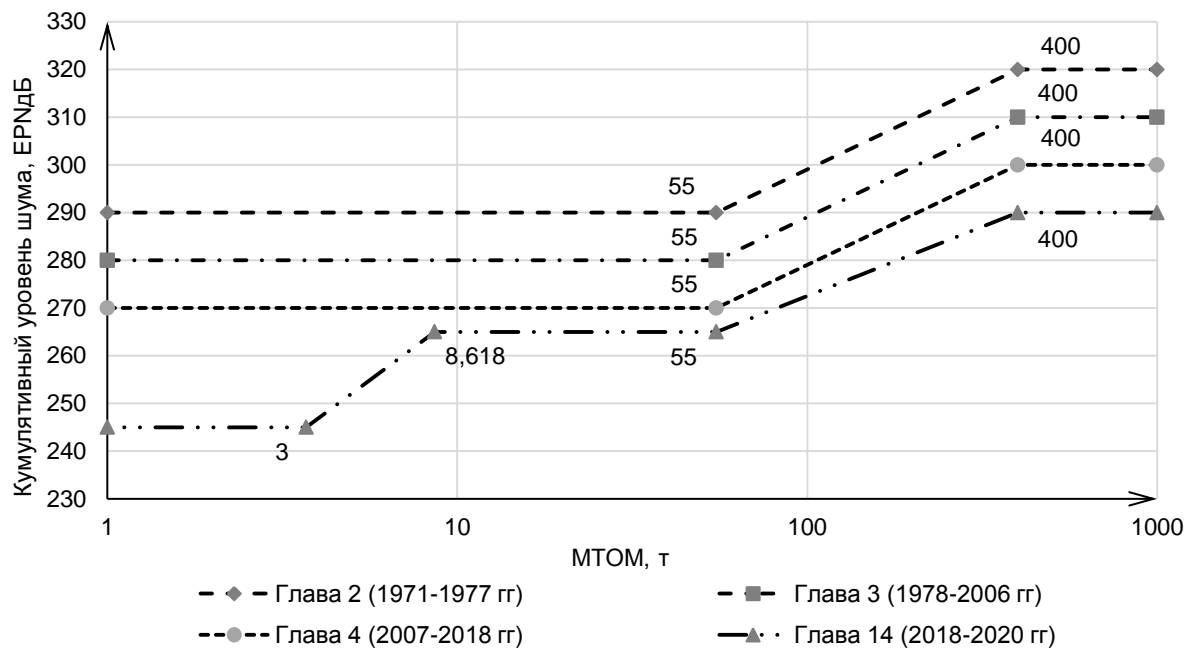


Рис. 3. Динамика ужесточения допустимого уровня шума

Исходя из графика, можно сделать следующий вывод: сроки введения норм – сокращаются с введением каждой новой главы. Внедрённые технологии шумоподавления, в будущем не смогут обеспечить допустимое значение кумулятивного уровня шума.

В требованиях, изложенных в Приложении 16 Главе 14, в Томе I описаны стандарты относящиеся ко всем самолётам, в независимости от установленного АД, за исключением самолётов, оснащенных ТВД с потребной длиной ВПП до 610 м, при максимальной зарегистрированной МТОМ; самолётов, оснащенных ТВД и сконструированных для выполнения сельскохозяйственных работ или борьбы с пожарами [9].

Ужесточённые требования, разработанные Советом ИКАО для сертификации новых самолётов, распространяются на следующие самолёты и их модификации [9]:

1. все дозвуковые с ТРД и ТВД, и их модификации с МТОМ=55 т и более, если заявка на получение сертификата типа была подана до 31 декабря 2017 года;

2. все дозвуковые с ТРД с МТОМ<55 т или ТВД с 8,618>МТОМ<55 т, если заявка на получение сертификата типа была подана до 31 декабря 2020 года или позже;

3. все самолёты с ТРД и ТВД, первоначально получившие сертификат о лётной годности по требованиям Главы 3, 4 или 5, Тома I Приложения 16 к Конвенции о международной КА, которые требуется повторно сертифицировать на соответствие требованиям Главы 14.

Для возможности сравнения наиболее популярных ЛА, оснащённых ТРДД по критерию минимальный кумулятивный уровень излучаемого шума, была составлена таблица 3 с использованием данных ИКАО по шуму ЛА [10].

Таблица 3

Значения шума некоторых ЛА

Самолёт	Устанавливаемый двигатель	МТОМ, кг	Допустимый кумулятивный уровень шума, ЕРНдБ	Кумулятивный уровень излучаемого шума, ЕРНдБ
Airbus A320-200	CFM56-5B6	77000	289,3	274,7
Airbus A350-900	Rolls-Royce Trent XWB-84	275000	305,6	274,2
Airbus A380-800	Engine Alliance GP7270	575000	314	287,6
Boeing 787-9	Rolls-Royce Trent 1000	231876	303,5	272,7
Boeing 747-8	General Electric GE GEnx-2B	447695	314	288,6
Bombardier CSeries	General Electric GE CF34-8	41460	282,3	268
Embraer ERJ 190	General Electric GE CF34-10	48790	283,4	270
Антонов Ан-158	Мотор Сич Д-436-148	43700	272,5	272
Sukhoi Superjet 100	Powerjet S.A. SaM146-1S	45880	282,9	268,1

Проанализировав таблицу 3, можно сделать следующий вывод: среди представленных летательных аппаратов, наиболее низким кумулятивным уровнем излучаемого шума обладают самолёты Bombardier CSeries и Sukhoi Superjet 100.

Исходя из требований Тома I, Приложения 16 к Конвенции о международной КА гражданской авиации «Авиационный шум», можно сделать выводы:

- уровни шума самолёта во время испытаний, замеряют в определённых Стандартом контрольных точках измерения шума;
- авиационный шум нормируется в зависимости от типа самолета, устанавливаемого двигателя, но самым главным критерием является – МТОМ;
- нормы на шум и контрольные точки измерения шума для самолётов с различными двигателями – отличаются;
- самолёты короткого взлета и посадки, взлетная и посадочная дистанции, для которых должны быть не более 610 м, не сертифицируются по шуму;
- начиная с 31 декабря 2020 года, новые типы летательных аппаратов, представленные для сертификации с МТОМ<55 т, должны проектироваться с учетом новых требований по шуму.

5. Анализ будущего рынка

На сегодняшний день парк КА состоит из более 26500 ЛА. Узкофюзеляжные самолёты, вместимостью 120+ кресел – являются наиболее востребованными на рынке ЛА. На рисунке 4 показан состав мирового авиапарка по типам самолётов.

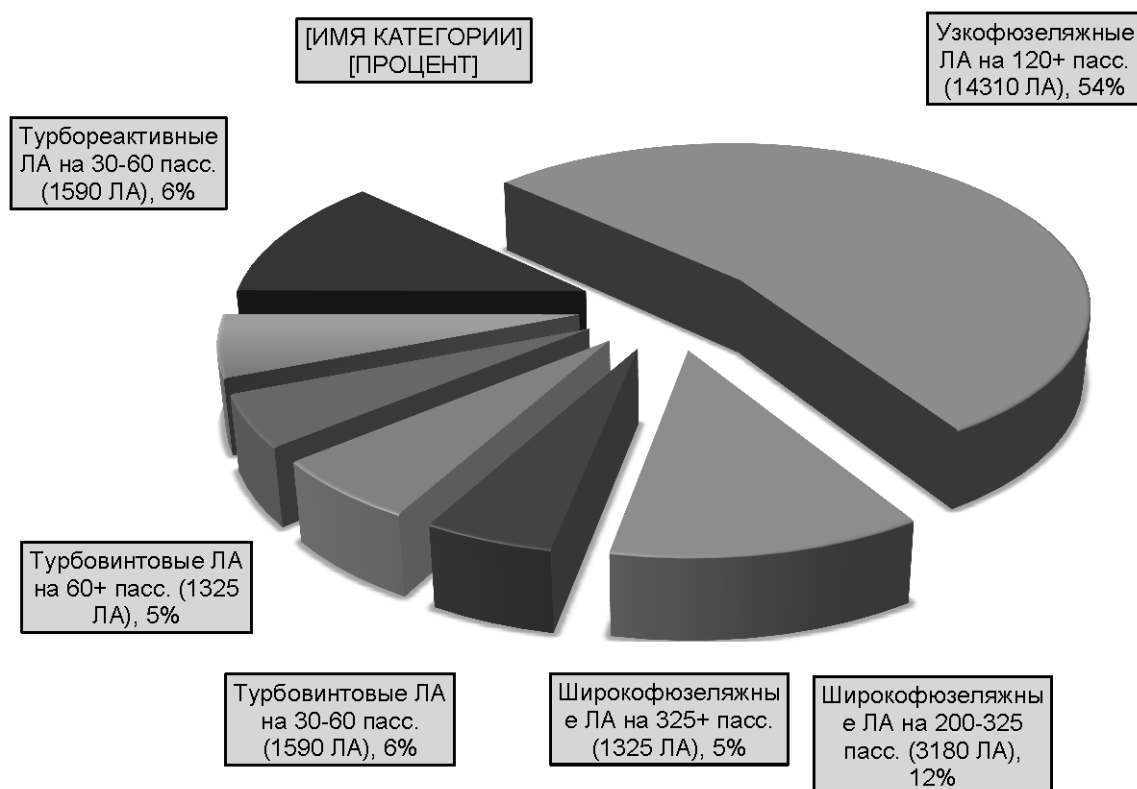


Рис. 4. Мировой авиапарк по типам самолётов

В период до 2035 года ожидается повышение количества полётов на 40 %, а количества пассажиров на 120 %. Этому поспособствует снижение цен на полеты, что вызовет востребованность в численности самолётов. Повышение численности самолётов, загрузит аэропорты таким образом, что будут совершаться нежелательные для аэропортов вблизи городов ночные, непрерывные полёты. Это повлечет повышение уровня выбросов, нарушение норм шума.

Согласно планам ведущих фирм-производителей пассажирских ЛА, до 2025 года рынок пополнится на 2120 новых ЛА:

- Boeing – 676 летательных аппаратов;
- Airbus – 627 летательных аппаратов;
- Embraer – 510 летательных аппаратов;
- Comac – 250 летательных аппаратов;
- ATR – 11 летательных аппаратов;
- Bombardier – 19 летательных аппаратов;
- самолёты стран СНГ – 27 летательных аппаратов.

При этом, корпорация Boeing прогнозирует, что в течении 20 лет, будет происходить повышение количества грузоперевозок ежегодно на 4 %. Причиной этому послужит постоянно растущий рынок в Юго-Восточной Азии. В связи с

этим, будет повышаться спрос на транспортные летательные аппараты.

В области пассажироперевозок потребность возрастёт на 42000 новых ЛА, среди которых:

- самолёты с ТВД на 30-60 мест – 860 ЛА;
- самолёты с ТРДД более 60 мест – 1470 ЛА;
- самолёты с ТРДД на 30-60 мест – 165 ЛА;
- узкофюзеляжные ТРДД на 60-120 мест – 4610 ЛА;
- узкофюзеляжные самолёты с ТРДД на более 120 мест – 27400 ЛА;
- широкофюзеляжные самолёты с ТРДД менее 325 мест – 4815 ЛА;
- широкофюзеляжные самолёты с ТРДД более 325 мест – 2680 ЛА.

Исходя из прогнозов, можно сделать следующий вывод: увеличение количества эксплуатируемых летательных аппаратов, оснащённых АД во всём мире, приведет к повышению количества вредных выбросов и уровня авиационного шума в наиболее экономически развитых странах. Это повлечет за собой изменение климатических условий, ухудшение здоровья живых организмов и последующую их миграцию в более приемлемые для жизни территории.

6. Предложения решения проблем негативного воздействия

Рынок КА, постоянно пополняется новыми, усовершенствованными летательными аппаратами. Производители пассажирской авиационной техники постоянно модифицируют и разрабатывают новые летательные аппараты, привлекаемые своими лётно-техническими характеристиками и условиями комфорта для пассажиров. Устаревшие пассажирские летательные аппараты переделывают в грузовые модификации. То есть, количество авиационной техники не снижается, а пополняется и уровень пагубного влияния на окружающую среду – растёт.

На 21-ой конференции, проводимой в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP 21) и 11-ой – в рамках совещания сторон по Киотскому протоколу (CRP-11), в Ле-Бурже в 2015 году, была выполнена попытка достичь соглашения, позволяющего эффективно бороться против изменения климата и ускорить переход к обществу и экономике, мало потребляющим углеродные технологии.

Итогом конференции было подписание международного соглашения, по поддержке уровня увеличения средней температуры окружающей среды на уровне ниже 2 °C до 2050 года.

Выбросы CO₂, являются глобальной проблемой, не только для транспортного, но и промышленно-энергетического сектора. На рисунке 5 показана диаграмма количества выбросов CO₂, приходящихся на различные секторы жизнедеятельности человека.

АТ составляет 3 % от суммарного уровня загрязнения атмосферы углекислым газом, но данную позицию, удержать будет тяжело из-за постоянно растущего количества полётов. От услуг КА, отказаться невозможно, а альтернативного транспорта, обладающего такими возможностями, пока еще не существует. Для удержания позиции 3%, необходимо частично снизить вредное влияние на окружающую среду.

Многие исследовательские центры, разрабатывают рекомендации по снижению вредных выбросов двигателей ЛА. Некоторые из них представлены в списке:

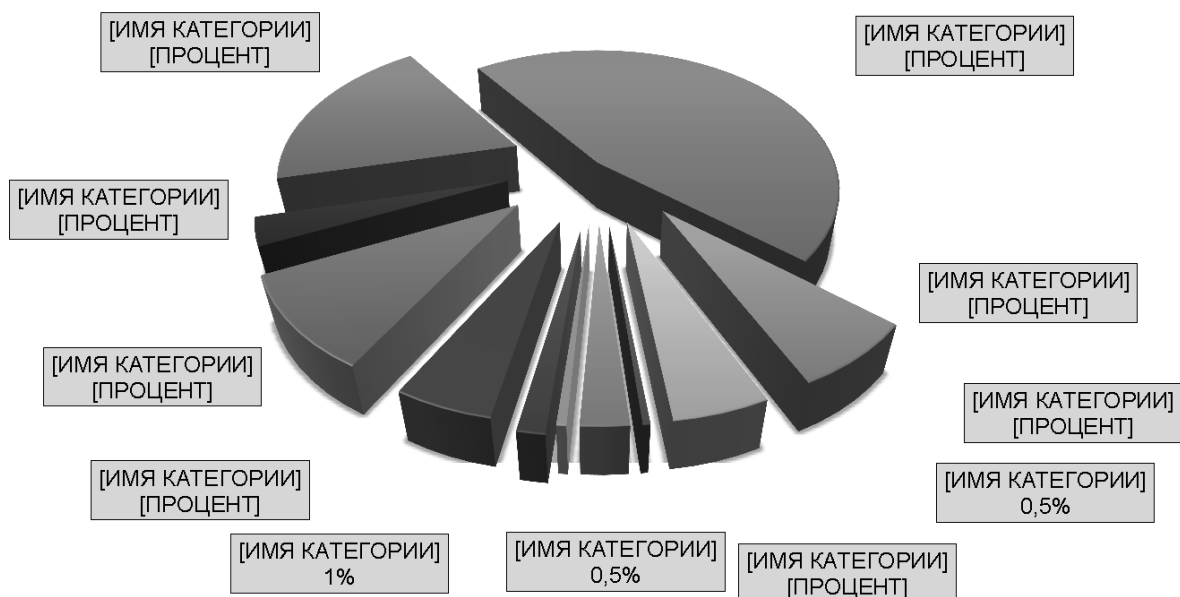


Рис. 5. Диаграмма выбросов CO₂ по отраслям

- для снижения содержания в выбросах CO₂, в КС необходимо повышать температуру горения. Но, повышение температуры горения, повысит давление в КС и по мере увеличения этих показателей, увеличивается содержание NO_x. Возникает потребность в новых, более стойких к повышенным температурам и продуктам горения материалах;
- необходимо создавать более бедную топливно-воздушной смесь. Это влечет за собой высокий уровень расхода воздуха, который параллельно охлаждает двигатель;
- оснащать двигатели фронтовым устройством КС с увеличенным расходом воздуха. Это обеспечит низкую эмиссию КС;
- устанавливать модуль форсунок с пневматическим распылом – снижение уровня оксидов азота NO_x, углерода CO₂, несгоревшего топлива HC и дымности SN;
- устанавливать спрямляющий аппарат с оптимальным углом наклона и стреловидностью лопаток вентилятора двигателя – снизится уровень шума.

Европейская исследовательская программа по инновационным технологиям, направленным на снижение вредных выбросов и шума, производимых самолётами «Clean Sky 2», исследует технологии, способствующие снижению вредных выбросов и шумового загрязнения. Среди таких технологий можно выделить следующие рекомендации:

1. усовершенствование аэродинамической компоновки ЛА – повышение аэродинамического качества – снижение расхода топлива, уровня выбросов, и шума;
2. снижение аэродинамических нагрузок для предотвращения превышения допустимых нагрузок в критических условиях (например, резкие порывы ветра или высокоскоростные маневры) – оптимизация конструкции, а значит снижение её массы.

Компания Safran, предлагает для авиарынка АД по схеме открытого ротора – Open Rotor (Рис. 6) [11].



Рис. 6. АД по схеме открытый ротор производства Safran

Ожидается, что АД Safran позволит снизить количество расходуемого топлива и уровень выбросов углекислого газа на 30% чем у CFM56. Недостатком такого типа АД, в сравнении с ТРДД является высокий уровень шума, создаваемый лопастями винтовентилятора и снижение скорости полёта ЛА на 20 %.

Для снижения уровня шумового загрязнения, производимого ДВС, компания Dassault Aviation, исследует новую схему оперения «U-образного типа» (рисунок 7). Установка АД выше оперения такого типа, снижает уровень выделяемого шума во время полёта, отражая звуковую волну вверх, а не вниз [12].

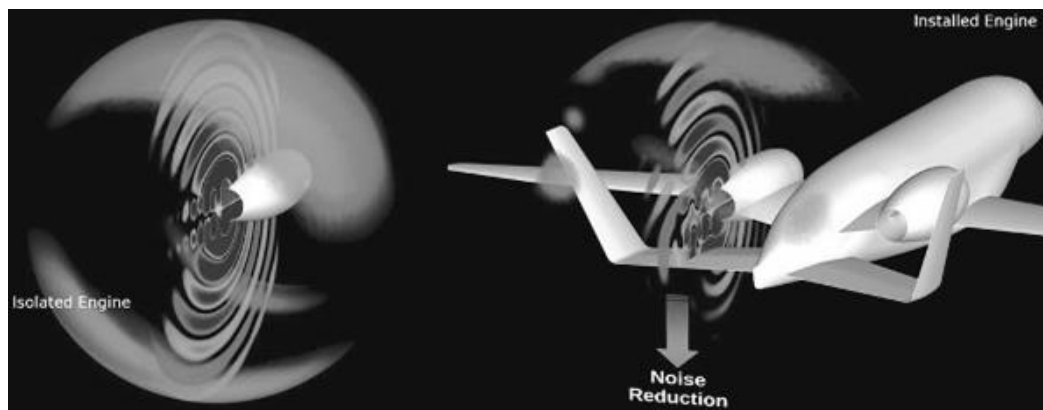


Рис. 7. Работа U-образного оперения в процессе снижении шума

Как было написано ранее: основной источник загрязнения вредными выбросами и шумом атмосферы от ЛА является АД. На сегодняшний день ЛА в перспективе, могут оснащаться следующими типами СУ: ГСУ, СУ основанные на топливных элементах – ВоСУ или ЭСУ.

Преимущества оснащения ЛА ГСУ:

1. экологичность, в сравнении с ЛА, летающими только на топливе;
2. распределение ролей для двигателей: (взлёт, набор высоты, ситуации, требующие огромного количества мощности – электродвигатель (ЭД), а крейсерский полёт – ДВС);
3. потребление топлива – снижается до 20% и более;

4. в случае отказа ЭД или нехватки заряда аккумулятора (АКБ), ЛА может продолжать полет к ближайшему аэропорту с помощью ДВС, а также осуществить зарядку АКБ, во время полета;

5. во время работы ЭД, уровень шума существенно ниже, чем уровень шума от ДВС;

6. ЭД служить как вспомогательный. Тогда ДВС работает на крейсерском режиме, а ЭД обеспечивает разницу между, потребной и располагаемыми тягами.

Недостатки ЛА, оснащённого ГСУ:

1. высокая стоимость и масса СУ;

2. дороговизна технического обслуживания из-за необходимости обслуживания не только ДВС, но и ЭД;

3. снижение ёмкости и ресурса АКБ в холодное время года;

4. потери электроэнергии, в процессе преобразования в генераторе.

Вариантом для создания потребной для полета энергии являются –¹топливные элементы.

Преимущества ЛА, оснащенного СУ на основе топливных элементов:

1. высокий уровень экологичности: в результате реакции образуется водяной пар и большое количество тепла;

2. КПД топливных элементов больше, чем у ДВС;

3. возможность обеспечения питания бортового радиоэлектронного оборудования, с помощью энергии, полученной от топливных элементов. Это позволит отказаться от тяжелых генераторов;

4. снижение авиационного шума;

5. полная независимость от керосина.

Недостатки ЛА, оснащенного топливными элементами:

1. цена ВоСУ, дороже чем ДВС из-за применения в изготовлении дорогостоящих материалов и технологий;

2. высокая степень взрывоопасности водорода как химического элемента, при контакте с воздухом;

3. система хранения водорода (баллоны) обладает большими габаритно-массовыми характеристиками;

4. сложность и дороговизна технического обслуживания ВоСУ;

5. дороговизна технологий получения водорода.

Установка на ЛА ЭСУ, позволяет получить следующие преимущества:

1. вредные выбросы производятся, в сфере электроэнергетики и ЛА, ограничения по выбросам уже не касаются;

2. независимость от компаний, продающих керосин – снижение затрат на эксплуатацию;

3. эффективность преобразования электроэнергии в мощность более чем в 3 раза выше, чем в случае использования ДВС (большая часть энергии теряется в виде тепловой);

4. открытие географии для полётов ЛА оснащённых ЭСУ в странах с наиболее ужесточёнными нормами по вредным выбросам;

¹ Топливные элементы – это электрохимическое устройство преобразования энергии, которое за счет химической реакции преобразовывает водород и кислород, получаемый из воздуха в электричество.

5. уровень шумового загрязнения от работы ЭД ниже, чем ДВС и авиационный шум будет состоять преимущественно из аэродинамического шума и шума авиационных колёс во время разбега и пробега по ВПП;

6. высокий диапазон регулирования частоты вращения двигателя;

7. снижается масса звукоизоляционных материалов, из-за снижения потребности обеспечения низкого уровня шума в пассажирском салоне;

8. стоимость технического обслуживания ДВС выше, чем ЭСУ, поэтому цена эксплуатации будет ниже.

Среди недостатков ЛА с ЭСУ, можно выделить следующие:

1. очень низкая скорость зарядки АКБ из-за нагрева во время зарядки, а высокая температура нагрева АКБ – снижает его ресурс;

2. снижение ёмкости АКБ при низких температурах (наиболее благоприятная температура 20 °С), что не позволяет ЛА летать на больших высотах, в странах с жарким и холодным климатом;

3. сложность утилизации АКБ, для обеспечения минимального ущерба окружающей среде;

4. деградация АКБ, продолжительность полета будет постоянно снижаться.

Будущее авиации с ГСУ или ЭСУ зависит от развития технологий двигателестроения и развития отрасли энергоносителей. Перспективу роста мощности ЭСУ показано на рисунке 8.

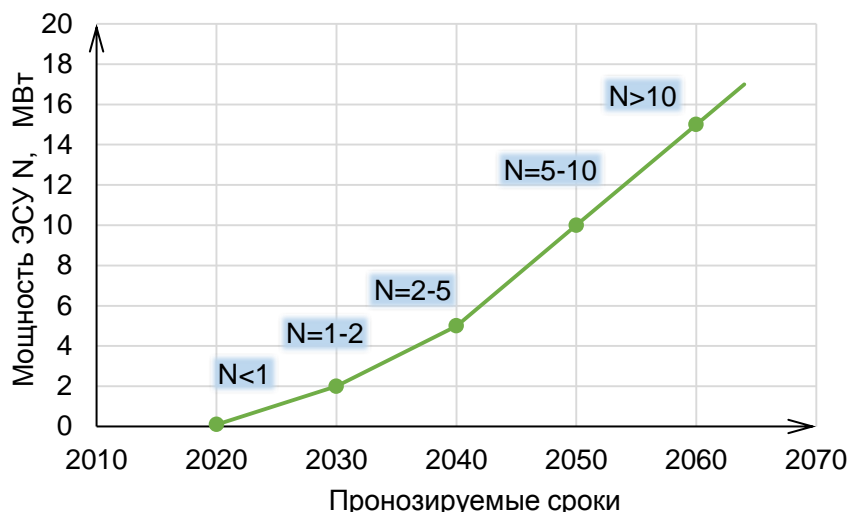


Рис. 8. Развитие мощности ЭСУ

Исходя из графика, можно предположить, перспективу развития ЛА с ЭСУ:

- сегодня – N<1 МВт-класса – все самолеты с ГСУ и ЭСУ;
- через 10 лет – N=1-2 МВт-класса – гибридно-электрические региональные самолеты на 50 пассажиров или региональный самолет на 100 пассажиров с ЭСУ;
- через 20 лет – N=2-5 МВт-класса – гибридно-электрические, региональные самолеты на 150 пассажиров или региональные самолеты на 100 пассажиров с ЭСУ;
- через 20 лет – N=2-5 МВт-класса – гибридно-электрические, региональные самолеты на 150 пассажиров или региональные самолеты на 100 пассажиров с ЭСУ;

- через 30 лет – $N=5-10$ МВт-класса – гибридно-электрические самолеты типа Boeing 737 на 150 пассажиров, самолеты с ЭСУ на 150 пассажиров;
- через 40 лет – $N>10$ МВт-класса самолеты с ЭСУ и ГСУ на 300 пассажиров.

Главной проблемой, мешающей развитию авиации с ЭСУ является уровень прогресса технологий и материалов, для производства АКБ большой ёмкости при низкой массе, обеспечение оптимальной рабочей температуры и безопасной утилизации уже утративших свой ресурс АКБ.

7. Определение возможности замены ДВС на ЭСУ на лёгком самолёте для выполнения учебно-тренировочных полётов

Для рассмотрения возможности реализации замены СУ на конкретном типе ЛА, был выбран самолёт Ан-28 (рисунок 9) – это лёгкий двухмоторный транспортно-пассажирский самолёт оснащённый ТВД, который обеспечивает МТОМ 6500 кг. Рассчитан на воздушные перевозки личного состава или грузов на дальность 700 км. ЛА оснащён двумя двигателями ТВД-10Б, которые обеспечивают максимальную мощность СУ, равную 1420 кВт.



Рис. 9. Самолёт Ан-28

На сегодняшний день, наиболее мощными ЭД для АТ являются двигатели MagniX 500 и Siemens SP260D. Характеристики двигателей приведены в таблице 4.

На сегодняшний день, уровень прогресса технологий производства АКБ большой ёмкости при обеспечении их низкой массы недостаточно развит. Оснащение самолёта рассматриваемого типа для обеспечения дальности 400 км невозможно из-за высокой массы комплекта АКБ. Рассмотрим возможность оснащения ЛА ЭСУ для выполнения учебно-тренировочных полётов с выбросом парашютистов.

Для оснащения самолёта рассматриваемого типа ЭД, необходимо обеспечить минимальную мощность ЭСУ 1420 кВт. Определим потребную ёмкость комплекта АКБ для самолёта Ан-28 с существующими вариантами ЭД и перспективным ЭД, который будет обладать эквивалентной мощностью $N=750$ кВт и может быть разработан под заказ (Двигатель П).

Рассматриваем задачу взлёта самолёта с аэродрома, набора высоты

3500 м, выброса парашютистов (15 человек) и посадки на аэродром с возможностью захода на посадку со второго круга.

Таблица 4

Характеристики ЭД

Характеристика	Magnix 500	Siemens SP260D
Крутящий момент, Н·м	2814	1000
Максимальная частота вращения вала, об/мин	3000	2500
Мощность N, кВт	560	260
Напряжение постоянного тока, В	540	580
КПД, %	93	95
Масса ДУ $m_{ду}$, кг	135	50
Отношение мощности к массе, к	4,2	5,2

Разделим продолжительность полёта на участки, в зависимости от времени (согласно высотно-скоростным характеристикам двигателя ТВД-10Б):

- запуск двигателя, руление, $t = 2$ мин;
- взлёт, $t = 1,3$ мин;
- набор высоты $H = 3500$ м, $t = 6,6$ мин;
- выброс парашютистов, $t = 2$ мин;
- снижение, $t = 10,2$ мин;
- уход на второй круг, $t = 3$ мин;
- посадка, $t = 2$ мин.

Суммарное время полёта составляет: $t \approx 0,45$ час = 27 мин.

Определим расход электроэнергии q_i для каждого режима полёта используя формулу:

$$q_i = N_i \cdot t_i \cdot n, \quad (1)$$

где N_i – мощность ЭД на i -том режиме полёта, кВт;

t_i – время полёта на i -том участке, час;

n – количество установленных двигателей.

Представим полученные результаты в таблице 5.

Для определения массы АКБ, воспользуемся статистическими данными по удельной энергоёмкости АКБ на основе Li-Ion. Для расчета с учётом темпа роста показателя, принимаем удельную энергоёмкость $Q = 0,3$ кВт·ч/кг. [13, стр.20]

Тогда, масса комплекта АКБ для выполнения полёта, продолжительностью $t = 27$ мин будет равна:

$$m_{акб\ i} = \frac{\sum q_{+5\%}}{Q}, \quad (2)$$

где $\sum q_{+5\%}$ – суммарная ёмкость АКБ, с учетом потерь на преобразования, кВт·ч;

Таблица 5

Ёмкость АКБ для трёх вариантов двигателей

Характеристика	Magnix 500	Siemens SP260D	Двигатель П
Мощность двигателя, кВт	560	260	750
Количество двигателей, n, шт	3	6	2
Суммарная стартовая мощность двигателей ΣN , кВт	1680	1560	1500
Режим полёта: запуск двигателя, руление			
Время, t, мин	2		
Мощность двигателей* $N_{рул}$, кВт	202	187	180
Расход электроэнергии $q_{рул}$, кВт·ч	6,7	6,2	6
Режим полёта: взлёт			
Время, t, мин	1,3		
Мощность двигателей* $N_{взл}$, кВт	1680	1560	1500
Расход электроэнергии $q_{взл}$, кВт·ч	36,4	33,8	32,5
Режим полёта: набор высоты H=3500 м			
Время, t, мин	6,6		
Мощность двигателей* $N_{наб.Нкр}$, кВт	1365,84	1268,3	1220
Расход электроэнергии $q_{наб.Нкр}$, кВт·ч	150,2	139,5	134,2
Режим полёта: выброс парашютистов			
Время, t, мин	2		
Мощность двигателей* $N_{виб.пар}$, кВт	1008	936	900
Расход электроэнергии $q_{виб.пар}$, кВт·ч	33,6	31,2	30
Режим полёта: снижение			
Время, t, мин	10,2		
Мощность двигателей* $N_{сн}$, кВт	336	312	300
Расход электроэнергии $q_{сн}$, кВт·ч	57,1	53	51
Режим полёта: уход на второй круг			
Время, t, мин	3		
Мощность двигателей** $N_{2кр}$, кВт	1365,84	1268,3	1220
Расход электроэнергии $q_{2кр}$, кВт·ч	68,3	63,4	61
Режим полёта: посадка			
Время, t, мин	2		
Мощность двигателей* $N_{пос.}$, кВт	268,8	249,6	240
Расход электроэнергии $q_{пос.}$, кВт·ч	9	8,3	8
Сумма			
Суммарная ёмкость АКБ, Σq , кВт·ч	361,3	335,5	322,7
Суммарная ёмкость АКБ с учетом потерь на преобразования $\Sigma q_{+5\%}$, кВт·ч	379,4	352,3	338,8

* – исходя из профиля полёта самолёта с двигателями ТВД-10Б.

** – суммарная мощность двигателей равна мощности на режиме набора высоты.

$Q=0,3$ кВт·ч/кг – удельная энергоёмкость перспективных АКБ.

Полученные результаты представим в таблице 6.

Таблица 6

Масса АКБ для трёх вариантов двигателей

Характеристика	Magnix 500	Siemens SP260D	Двигатель П
Количество двигателей n, шт	3	6	2
Суммарная ёмкость АКБ с учетом потерь на преобразования $\sum q_{+5\%}$, кВт·ч	379,4	352,3	338,8
Удельная энергоёмкость перспективных АКБ Q, кВт·ч/кг	0,3		
Масса комплекта АКБ $m_{акб\ i}$, кг	1265	1175	1130

Определив вес АКБ, определим для сравнения количество топлива, затраченного на взлет, набор высоты, выброс парашютистов и посадку самолёта Ан-28 с двигателями ТВД-10Б.

Согласно характеристикам двигателя ТВД-10Б, для выполнения задачи выброса парашютистов с учётом аэронавигационного запаса топлива, принятым 20% от общей массы топлива, ЛА необходимо 180 кг топлива.

Определим массу заказного ЭД используя коэффициент отношения массы к мощности современных ЭД. Для заказного ЭД, примем данный коэффициент $k=5$. Масса заказного двигателя равна:

$$m_d = \frac{N}{k}, \quad (4)$$

где $N=750$ кВт – мощность одного двигателя;

$k=5$ – коэффициент отношения веса к мощности ЭД.

$$m_d = \frac{750}{5} = 150 \text{ кг}$$

Во время эксплуатации АКБ – нагреваются, что способствует снижению ресурса АКБ. Для обеспечения охлаждения АКБ в состав ЭСУ входит система охлаждения АКБ. Примем, что масса системы охлаждения равна 5% от массы АКБ.

Определив составляющие взлётной массы относительно МТОМ ЛА $m_{0\max}=6500$ кг, рассчитаем взлётную массу ЛА с различными вариантами ЭСУ.

Для анализа и сравнительной оценки взлётной массы самолёта на задачу, воспользуемся уравнением существования самолета [14]:

$$1 = \bar{m}_{пл} + \bar{m}_{д\ i} + \bar{m}_{ип\ i} + \bar{m}_{охл\ i} + \frac{m_{сн} + m_{цн}}{m_{0\max}}, \quad (5)$$

где $\bar{m}_{пл}$ – относительная масса конструкции планера и оборудования без СУ;
 $\bar{m}_{ду\ i}$ – относительная масса i -того комплекта ДУ (ДВС или ЭД);
 $\bar{m}_{ип\ i}$ – относительная масса i -того комплекта источника питания СУ;
 $\bar{m}_{охл\ i}$ – относительная масса i -того комплекта системы охлаждения АКБ;
 $m_{сн}$ – масса снаряжения, (пилоты, масло, вода, медикаменты);
 $m_{цн}$ – масса целевой нагрузки, кг;
 $m_{0\ max}=6500$ кг – максимальная взлётная масса ЛА.

Полученные значения относительных масс и результаты расчётов представим в таблице 7.

Таблица 7

Относительные массы и результаты расчётов

Характеристики		ТВД-10Б	Magnix 500	Siemens SP260D	Двигатель П
Масса конструкции планера и оборудования без СУ	$m_{пл}$, кг	3270			
	$\bar{m}_{пл}$	0,503			
Масса двигательной установки $m_{ду}$, кг	$m_{ду}$, кг	2 x 300	3 x 135	6 x 50	2 x 150
	$\bar{m}_{ду}$	0,092	0,205	0,19	0,183
Масса источника питания (топливо или АКБ)	$m_{ин}$, кг	180	1265	1175	1130
	$\bar{m}_{ин}$	0,027	0,205	0,19	0,183
Масса системы охлаждения АКБ	$m_{охл}$, кг	—	70	60	
	$\bar{m}_{охл}$	—	0,01	0,0092	
Масса снаряжения ЛА, $m_{сн}$, кг		207			
Масса целевой нагрузки: парашютисты (15 человек), m_n , кг		1500			
Взлётная масса ЛА на задачу	\bar{m}_0	0,88	1,03	1,0	0,99
	m_0 , кг	5757	6717	6512	6467

Рассчитаем стоимость топлива и зарядки АКБ электроэнергией для совершения полёта. Принимаем цену керосина $\Pi_k=20000$ грн/т, а цену электроэнергии $\Pi_э=1,5$ грн/кВт·ч, тогда:

- стоимость топлива:

$$C_T = m_T \cdot \Pi_k, \quad (8)$$

где $m_T=0,18$ т – потребная масса топлива;

$\Pi_k=12000$ грн/т – цена за 1000 кг керосина.

$$C_T = 0,18 \cdot 20000 = 3600 \text{ грн}$$

- стоимость электроэнергии:

$$C_{акб} = q_{акб} \cdot \Pi_э \quad (9)$$

где $q_{\text{акб}}$ – потребная ёмкость АКБ на задачу, кВт·ч;

$\Pi_3 = 1,5$ грн/кВт·ч - цена электроэнергии.

Полученные результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8

Стоимость керосина и электроэнергии на задачу

Характеристики	ТВД-10Б	Magnix 500	Siemens SP260D	Двигатель П
Продолжительность полёта, t, мин	27			
Масса керосина на задачу, кг	180	–	–	–
Потребная ёмкость АКБ на задачу, $\sum q_{+5\%}$, кВт·ч	–	379,4	352,3	338,8
Стоимость заправки топливом или зарядки АКБ, грн	3600	570	530	510

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о возможности оснащения самолёта рассматриваемого типа ЭСУ для выполнения задач продолжительностью полёта до 27 минут. Такая ЭСУ должна состоять из 2-х двигателей по 750 кВт. Задачами для применения такого типа ЛА могут быть учебно-тренировочные полёты с выбросом парашютистов.

Выводы

Выполнен анализ основных причин для разработки авиационной техники, использующей ЭСУ. Определена главная причина для разработки модификаций авиационной техники установкой ЭСУ – загрязнение окружающей среды авиационными двигателями. Описан состав и особенности воздействия на человека вредных выбросов авиационного двигателя.

Был выполнен анализ рынка самолётостроения. Основным можно выделить прогноз компании Boeing на ближайшие 20 лет. Boeing прогнозирует увеличение количества авиационных перевозок на 4% каждый год.

Описана методика снижения негативного воздействия вредных выбросов и шумового загрязнения, предложенная ИКАО. Для соответствия ужесточённым требованиям новые и уже эксплуатируемые ЛА, должны будут оснащаться новыми, более экологичными СУ. Для совершенствования СУ или ЛА в целом, необходимо проводить большое количество опытно-конструкторских и технологических работ, стоимость которых может превышать, стоимость разработки принципиально новой СУ. Принципиально новыми СУ для будущих ЛА могут быть: ГСУ, ЭСУ или СУ, основанные на топливных элементах, преимущества и недостатки которых были описаны в первом приближении.

ЛА с ЭСУ является наиболее экологичным, а также имеет ряд преимуществ перед ЛА оснащёнными ДВС, но ЛА с ЭСУ не способен обеспечить равную продолжительность полёта в сравнении с ЛА оснащённым ДВС. Это объясняется низким значением удельной энергоёмкости АКБ на сегодняшний день.

Выполнен расчёт и анализ возможности оснащения ЭСУ ЛА типа Ан-28,

для выполнения учебно-тренировочных полётов с выбросом 15 парашютистов и посадки с возможностью заходом на посадку со второго круга. Были определены вес топлива для выполнения задания с ДВС и вес комплекта АКБ для 3-х вариантов двигателей. По полученным результатам была рассчитана в нулевом приближении стоимость топлива и зарядки АКБ. Полученные данные показывают экономическую выгоду применения ЭСУ на самолётах малой продолжительности полёта.

Список литературы

1. Наталья Журавлева. *Взгляд*. На наш век хватит [Электронный ресурс] / Наталья Журавлева – Режим доступа : <https://vz.ru/economy/2012/11/2/605487.print.html> - 16.05.2019.
2. Фабиан Шмидт, Владимир Фрадкин. *Made for minds*. Как выхлопные газы самолетов влияют на климат [Электронный ресурс] / Фабиан Шмидт, Владимир Фрадкин. – Режим доступа : <https://www.dw.com/ru/как-выхлопные-газы-самолетов-влияют-на-климат/a-15759056> - 20.01.2019.
3. Амбросов Д.Б. Контроль удельных выбросов оксидов азота; // Автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 04.02.2019 / Амбросов Д.Б - М.: МГАВТ, 2004.
4. Выбросы черного углерода: воздействие и смягчение последствий [Электронный ресурс] / – Режим доступа : https://www.wwf.ru/upload/iblock/1b0/02_black_carbon_emissions_twopager_final_12march2013_rus_2.pdf – 05.06.2019.
5. ICAO Aircraft engine emission. Databank. [Электронный ресурс] / Режим доступа : <https://www.easa.europa.eu/documentlibrary/icao-aircraft-engine-emissionsdatabank> - 05.06.2019.
6. *Studbooks.net*. Специфика воздействия авиационного транспорта на окружающую среду и возможные последствия этого воздействия. последствий [Электронный ресурс] / - Режим доступа : https://studbooks.net/982045/ekologiya/spetsifika_vliyaniya_aviatsionnogo_transporta_na_okruzhayuschuyu_sredu - 06.02.2019.
7. Охрана окружающей среды. Том II. Эмиссия авиационных двигателей: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, Издание 5, июль 2014.
8. Шишелова Т.И., Малыгина Ю.С. Влияние шума на организм человека / Шишелова Т.И., Малыгина Ю.С., Нгуен Суан Дат //Успехи современного естествознания. – 2009. – № 8. – С. 14-15.
9. Охрана окружающей среды. Том I. Авиационный шум: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, Издание 7, июль 2014.
10. ICAO Aircraft noise levels Databank. [Электронный ресурс] / Режим доступа : <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/easa-certification-noise-levels> - 15.06.2019.
11. Safran celebrates successful start of Open Rotor demonstrator tests on new open-air test rig in southern Franceю *Safran* [Электронный ресурс] / Режим доступа : <https://www.safran-group.com/media/safran-celebrates-successful-start-open-rotor-demonstrator-tests-new-open-air-test-rig-southern-france-20171003> – 16.03.2020.
12. Василий Сычёв. Французы испытали уменьшающее шум хвостовое оперение. *N+1* [Электронный ресурс] / Василий Сычёв - Режим доступа :

<https://www.nplus1.ru/news/2016/11/30/tail> - 24.12.2018.

13. Jan Otto Reimers Introduction of electric aviation in Norway [Электронный ресурс] / Jan Otto Reimers – Режим доступа : <https://avinor.no/contentassets/c29b7a7ec1164e5d8f7500f8fef810cc/introduction-of-electric-aircraft-in-norway.pdf> – 20.02.2020.

14. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов: Учебник для студентов авиационных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1991 – 400 с.

Reference

1. Natal'ja Zhuravleva. Vzgliad. Na nash vek hvatit [Vzgliad] / Natal'ja Zhuravleva – Access mode : <https://vz.ru/economy/2012/11/2/605487.print.html> – 16.05.2019.

2. Fabian Shmidt, Vladimir Fradkin. Made for minds. Kak vyhlopnye gazy sa-moletov vlijajut na klimat [Made for minds] / Fabian Shmidt, Vladimir Fradkin. – Access mode: <https://www.dw.com/ru/как-выхлопные-газы-самолетов-влияют-на-климат/a-15759056> - 20.01.2019.

3. Ambrosov D.B. Kontrol' udel'nyh vybrosov oksidov azota ; // Avtoreferat diss. ... kand. tehn. nauk: 04.02.2019 / Ambrosov D.B - M.: MGAVT, 2004

4. Vybrosoy chernogo ugleroda: vozdejstvie i smjagchenie posledstvij [Vybrosoy chernogo ugleroda] / – Access mode: https://www.wwf.ru/upload/iblock/1b0/02_black_carbon_emissions_twopager_final_1_2march2013_rus_2.pdf – 05.06.2019.

5. ICAO Aircraft engine emission Databank: – Access mode : <https://www.easa.europa.eu/documentlibrary/icao-aircraft-engine-emissionsdatabank> - 05.06.2019.

6. *Studbooks.net*. Specifika vozdejstvija aviacionnogo transporta na okruzhajushhuju sredu i vozmozhnye posledstvija jetogo vozdejstvija. posledstvij [Studbooks.net] / – Access mode: https://studbooks.net/982045/ekologiya/spetsifika_vliyaniya_aviatsionnogo_transporta_na_okruzhayuschuyu_sредu – 06.02.2019.

7. Ohrana okruzhajushhej sredy. Tom II. Jemissija aviacionnyh dvigatelej: Apendix 16 k Konvencii o mezhdunarodnoj grazhdanskoj aviacii. IKAO, Izdanie 5, Juli 2014;

8. Shishelova T.I. Vlianie shuma na organizm cheloveka / Shishelova T.I., Malygina Ju.S., Nguen Suan Dat //Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. – 2009. – № 8. – S. 14-15.

9. Ohrana okruzhajushhej sredy. Tom I. Aviacionnyj shum: Apendix 16 k Konvencii o mezhdunarodnoj grazhdanskoj aviacii. IKAO, Izdanie 7, Juli 2014;

10. ICAO Aircraft noise levels Databank: – Access mode: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/easa-certification-noise-levels> – 15.06.2019.

11. Safran celebrates successful start of Open Rotor demonstrator tests on new open-air test rig in southern France [Safran] - Access mode: <https://www.safran-group.com/media/safran-celebrates-successful-start-open-rotor-demonstrator-tests-new-open-air-test-rig-southern-france-20171003> – 16.03.2020.

12. Vasilij Sychjov. Francuzy ispytali umen'shajushhee shum hvostovoe operenie. [N+1] / Vasilij Sychjov – Access mode: <https://www.nplus1.ru/news/2016/11/30/tail> - 24.12.2018.

13. Jan Otto Reimers Introduction of electric aviation in Norway: [Feasibility study by Green Future] / Jan Otto Reimers – Access mode:

<https://avinor.no/contentassets/c29b7a7ec1164e5d8f7500f8fef810cc/introduction-of-electric-aircraft-in-norway.pdf> – 20.02.2020.

14. Zhitomirskij G.I. Konstrukcija samoletov: Uchebnik dlja studentov aviacionnyh special'nostej vuzov. – M.: Mashinostroenie, 1991 – 400 p.

Поступила в редакцию 10.02.2020, рассмотрена на редколлегии 11.02.2020

Аналіз основних причин для модифікації літаків транспортної категорії встановленням електричних силових установок

Сьогодні актуальною є проблема зниження рівня забруднення навколишнього середовища. Особливо важливим є питання забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами від двигунів внутрішнього згорання.

Літак забруднює навколишнє середовище шкідливими викидами та шумом, основним джерелом яких є авіаційний двигун внутрішнього згорання. Шкідливі викиди негативно впливають на навколишнє середовище шляхом зміни клімату, що в свою чергу негативно позначається на можливості нормальної життєдіяльності людини і фауни в цілому.

Виконано: а) аналіз складу шкідливих викидів авіаційних двигунів та було визначено механізм дії складових на атмосферу і людину; б) порівняння з точки зору екологічності останні модифікації далекомагістральних літаків Boeing 747 та Airbus A380; в) Аналіз складу авіаційного шуму та наслідки його дії на живі організми.

Для зниження негативного впливу на атмосферу від авіаційного сектора, ІКАО було розроблено методику зниження кількості викидів та випромінюваного шуму. Методика передбачає підвищення рівня кількісних критеріїв для сертифікації нових літальних апаратів, в порівнянні з рекомендаціями, що діють сьогодні. Для виконання вимог рекомендацій сьогодні і в майбутньому, необхідно постійно вдосконалювати технології згорання пального, розробка яких спричинить великі витрати, зіставні з ціною розробки повністю нового типу силової установки.

З цією метою був виконаний аналіз переваг і недоліків оснащення літаків транспортної категорії гібридною, електричною або на основі паливних елементів силовою установкою. Був виконаний розрахунок потрібної ємності електричних акумуляторів в випадку заміни типу силової установки на літаку типу Ан-28, з газотурбінної на електричну, для можливості польотів до 25 хвилин з викидом парашутистів.

Ключові слова: шкідливі викиди авіаційного двигуна внутрішнього згорання; авіаційний шум; двигун за схемою відкритий ротор; U-образне оперення; гібридна силова установка; електрична силова установка; електричний літак; гібридний літак.

Analysis of the main reasons for modification of the transport category aircraft by installation of electrical power plants

Nowadays problem of environment pollution reduction is of current interest. Issue connected to environment pollution due to harmful emissions caused by internal combustion engine requires attention. Plane pollutes environment with harmful emissions and noise that are caused by internal combustion engine. Harmful emissions

have negative influence on environment that can lead to climate change meanwhile it has a negative impact on vital activity of human beings and fauna.

Stages of implementation analysis: a) analysis composition of aviation engines emissions and mechanism of influence on atmosphere and human has been revealed; b) comparison of ecological point of view connected to recent modifications of long-haul jet aircraft Boeing 747 and Airbus A380; c) analysis composition of aviation noise and consequences of living organisms influence.

In order to reduce negative influence on atmosphere from aviation sector, ICAO reduction of emission quantity method and emitted noise has been created. Method is based on strengthening of quantitative criteria for new certificated aircrafts in comparison to recommendations that are valid nowadays. For requirements implementation created by ICAO it is very important to develop technologies of combustion which creation will cause high cost nowadays and in future comparable to full creation cost of new type of power plant.

To this end analysis of advantages and disadvantages aircraft equipment of transport category hybrids, electric and on the basis of power plant fuel elements was implemented. Calculation of electric accumulators capacity has been done in case of type power plant change of aircraft type AN-28 with gas turbine to electric for implementation of training flight till 25 minutes with.

Keywords: aircraft; harmful emission; internal combustion engine; aircraft noise; open rotor engine; U-type tail unit; hybrid propulsion system; electric power plant; electric plane; hybrid aircraft.

Сведения об авторах:

Филь Сергей Андреевич – к.т.н., главный конструктор по перспективным разработкам, ГП «Антонов», Киев, Украина.

Бондарчук Александр Васильевич – начальник сектора отдела перспективного проектирования, ГП «Антонов», Украина.

Гоптарь Тарас Леонидович – инженер-конструктор 3 категории ГП «Антонов», Киев, Украина.

About the Authors:

Fil Sergey Andreevich – Candidate of Technical Sciences, Chief Designer for Advanced Development, SE Antonov, Kiev, Ukraine.

Bondarchuk Aleksandr Vasilyevich – Head of Section, Advanced Development Department, SE Antonov, Ukraine.

Goptar Taras Leonidovich – Design Engineer of the 3rd category, SE Antonov, Kiev, Ukraine