



ИКАО

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

ДОКЛАД ОБ ОСУЩЕСТВИМОСТИ  
ДОЛГОСРОЧНОЙ ЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ЦЕЛИ (LTAG)  
ПО СОКРАЩЕНИЮ ЭМИССИИ СО<sub>2</sub> ДЛЯ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ АВИАЦИИ



КОМИТЕТ ИКАО ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
АВИАЦИИ  
МАРТ 2022 ГОДА

**ДОКЛАД ОБ ОСУЩЕСТВИМОСТИ ДОЛГОСРОЧНОЙ  
ЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ЦЕЛИ (LTAG) ПО СОКРАЩЕНИЮ ЭМИССИИ CO<sub>2</sub>  
ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ АВИАЦИИ**

**КОМИТЕТ ИКАО ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ АВИАЦИИ (САЕР)**

**Март 2022 года**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Краткая справка	iii
1. Исходная информация	1
2. Краткий обзор результатов и некоторые замечания общего характера	2
3. Методика	4
4. Краткий обзор результатов	6
5. Замечания относительно вариантов действий	15
6. Прочие замечания	16
7. Добавления к окончательному докладу	18
Добавление R1. Сводные данные	R1-1
Добавление R2. Сравнение с тенденциями	R2-1
Добавление R3. Результаты в контексте	R3-1
Добавления по методике	
Добавление M1. Обзор подходов к моделированию, использованных при подготовке результатов	M1-1
Добавление M2. Прогноз	M2-1
Добавление M3. Технологии	M3-1
Добавление M4. Эксплуатация	M4-1
Добавление M5. Топливо	M5-1
Добавление S1. Контекст науки о климате	S1-1
Добавление B1. Исходная информация	B1-1

## КРАТКАЯ СПРАВКА

В ходе 40-й сессии Ассамблеи ИКАО государства-члены Организации просили Совет продолжать изучать осуществимость долгосрочной глобальной амбициозной цели (LTAG) для международной гражданской авиации путем проведения детальных исследований по оценке достижимости и последствий любых предложенных целей, включая последствия с точки зрения роста, а также затрат во всех странах, особенно в развивающихся странах, в целях представления результатов работы на 41-й сессии Ассамблеи ИКАО.

Целевая группа по долгосрочной желательной цели (LTAG-TG) CAEP при взаимодействии с другими рабочими группами CAEP (например, Вспомогательная группа по прогнозированию и экономическому анализу (FESG), Группа по моделированию и базам данных (MDG)) предприняла сбор данных из внутренних и внешних источников и разработала три комплексных секторальных сценария по принципу "технологии", "топливо" и "эксплуатация", каждый из которых представляет диапазон уровней выполнимости и готовности. Сценарии были проанализированы для понимания последствий с точки зрения эмиссии CO<sub>2</sub>, затрат и инвестиций, а также потенциальных последствий, касающихся развития авиации, шума и качества воздуха. LTAG-TG также документально оформила основные данные для анализа последствий во всех странах, особенно в развивающихся. И наконец, эти сценарии рассматривались в контексте современных общепринятых научных знаний.

### Замечания общего характера

Разработанные комплексные сценарии свидетельствуют о возможности значительного сокращения эмиссии CO<sub>2</sub>, однако ни один из них не обеспечивает достижение нулевой эмиссии CO<sub>2</sub> за счет использования внутриотраслевых мер (то есть мер в области технологий, эксплуатации и топлива). Это объясняется учетом эмиссии в течение всего жизненного цикла топлива, которая будет иметь место даже при полной замене обычного реактивного топлива новыми видами топлива (например, устойчиво производимым авиационным топливом (SAF) – топливом, получаемым из биомассы, отходов или атмосферного CO<sub>2</sub>, или водородом). Важно отметить, что при сокращении эмиссии в других секторах показатели эмиссии в течение жизненного цикла также должны снижаться. Поскольку сфера охвата исследования LTAG-TG ограничена исключительно изучением внутриотраслевых мер, в своем анализе она не рассматривала меры, которые могут осуществляться в других секторах.

Темпы роста общего объема перевозок оказывают существенное влияние на остаточную эмиссию CO<sub>2</sub> к 2050 году и в последующий период.

Наибольшее воздействие на остаточную эмиссию CO<sub>2</sub> оказывают виды смесового топлива, благодаря которым обеспечивается общее сокращение к 2050 году. Это в определенной степени не зависит от сценариев, связанных с технологиями и эксплуатацией. Водород, как представляется, не будет вносить в это существенный вклад к 2050 году (его доля в 2050 году будет составлять всего 1,9%), однако его применение может увеличиться в 2050-х и 2060-х годах, если это будет технически осуществимо и коммерчески целесообразно.

Воздушные суда с усовершенствованной конструкцией фюзеляжа и крыльев имеют очевидный потенциал для повышения топливной (энергетической) эффективности в системе международной авиации, но вклад в этот процесс воздушных судов с нестандартной конфигурацией постепенно возрастает. Воздушные суда на водородном топливе будут иметь меньшую энергоэффективность по сравнению с воздушными судами, работающими на жидком топливе, при

этом отмечается, что сокращение эмиссии будет достигаться за счет сокращения жизненного цикла эмиссии водорода.

Анализ показывает, что в процессе производства полетов существуют возможности сокращения эмиссии CO<sub>2</sub> за счет повышения эффективности полетов на всех этапах, включая такие нестандартные меры, как полет в строю.

Затраты и инвестиции, связанные со сценариями, в основном определяются видами топлива (например, SAF), при этом дополнительные затраты на топливо (то есть, минимальная цена продажи SAF по сравнению с обычным реактивным топливом) являются дополнительным стимулом для повышения топливной (энергетической) эффективности за счет авиационных технологий и эксплуатационных мер. Это также потребует определенных инвестиций со стороны правительств и отрасли.

Авиационные технологии и соответствующие проектные решения будут по-прежнему направлены на удовлетворение потребностей мирового рынка и не будут иметь региональные различия. Эксплуатанты в различных регионах или государствах будут приобретать лучшие из имеющихся воздушных судов, которые отвечают их потребностям. Также ожидается появление региональных различий при внедрении эксплуатационных мер. Наиболее серьезные региональные различия ожидаются в сфере производства и использования видов топлива. Это обусловлено рядом факторов, таких как региональное наличие сырья в виде отходов и биомассы, CO<sub>2</sub> и криогенного водорода, источников возобновляемой энергии, динамики рынка и инфраструктуры.

Хотя LTAG-TG подготовила ограниченное количество сценариев, чтобы отразить все более амбициозные планы в области технологий, эксплуатации и топлива, тем не менее, существует множество иных путей, которые могут привести к достижению аналогичных уровней эмиссии CO<sub>2</sub>. Анализ LTAG-TG показывает, что сценарии и исследования в отношении LTAG являются надежными, при этом отмечается, что хотя различные пути могут привести к аналогичным уровням эмиссии CO<sub>2</sub>, они могут иметь различные последствия, например, с точки зрения затрат (инвестиций) и региональных последствий.

Данный доклад является результатом практически двух лет интенсивной работы CAEP. В следующих разделах представлена исходная информация, методики, результаты и пояснения, касающиеся исследования LTAG-TG. В соответствующих вспомогательных добавлениях в целях обеспечения прозрачности и полноты изложения также представлены подходы к моделированию, методики, модели, допущения и описание результатов.



## 1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1.1 В ходе 40-й сессии Ассамблеи ИКАО (24 сентября – 4 октября 2019 года) государства – члены ИКАО продолжают изучать осуществимость долгосрочной глобальной амбициозной цели (LTAG) для международной гражданской авиации путем проведения детальных исследований по оценке достижимости и последствий любых предложенных целей, включая последствия с точки зрения роста, а также затрат во всех странах, особенно в развивающихся странах, в целях представления результатов работы на 41-й сессии Ассамблеи ИКАО (пункт 9 постановляющей части резолюции Ассамблеи А40-18).

1.2 На своей 219-й сессии 13 марта 2020 года Совет принял решение об организации работы по оценке осуществимости LTAG в соответствии с кругом ведения Целевой группы САЕР по долгосрочной желательной цели (LTAG-TG).

1.3 По согласованию с Советом LTAG-TG САЕР осуществила: 1) транспарентный и всеобъемлющий сбор данных из внутренних и внешних источников, 2) разработку на основе собранных данных комплексных секторальных сценариев исходя из технологий, видов топлива и эксплуатационных мер, представляющих диапазон уровней выполнимости и готовности, и 3) итоговый анализ сценариев для понимания их воздействия на эмиссию CO<sub>2</sub> и затрат, связанных с этими сценариями, а также экономических последствий с точки зрения развития авиации, шума и качества воздуха, благодаря чему были получены данные для оценки последствий во всех странах, особенно в развивающихся, и результаты были рассмотрены в контексте современных общепринятых научных знаний.

1.4 Работа в рамках LTAG-TG осуществлялась профильными подгруппами, состоящими из экспертов по авиационным технологиям (TECH-SG), по совершенствованию правил эксплуатации (OPS-SG) и производству топлива (FUEL-SG), а также подгруппой по разработке сценариев (SD-SG), которая координировала работу всех других подгрупп и групп, не относящихся к LTAG-TG, таких как MDG и FESG. В рамках SDSG LTAG-TG также была сформирована Специальная группа по оценке затрат (CEahg) для отдельного изучения аспектов анализа, связанных с затратами/инвестициями. В настоящем окончательном докладе обобщены совместная деятельность более 280 экспертов по итогам более чем 200 совещаний, а также представлена техническая оценка осуществимости LTAG, которая содержит внесенную САЕР рекомендацию Совету, включая варианты действий и дорожные карты для их реализации.

## 2. КРАТКИЙ ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ И НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ОБЩЕГО ХАРАКТЕРА

2.1 На основе комплексных и углубленных исследований, проведенных CAEP, было сделано несколько замечаний общего характера:

- a) Разработанные сценарии свидетельствуют о возможности значительного сокращения эмиссии CO<sub>2</sub>, однако ни один из них не гарантирует достижение нулевой эмиссии CO<sub>2</sub> за счет использования внутриотраслевых мер (т. е. мер в области технологий, эксплуатации и топлива). Это объясняется учетом эмиссии в течение всего жизненного цикла топлива, которая будет иметь место даже при полной замене обычного реактивного топлива новыми видами топлива (например, устойчиво производимым авиационным топливом (SAF) – топливом, получаемым из биомассы, отходов или атмосферного CO<sub>2</sub>, или водородом). Важно отметить, что при сокращении эмиссии в других секторах, показатели эмиссии в течение жизненного цикла также должны снижаться. Поскольку сфера охвата исследования LTAG-TG ограничена исключительно изучением внутриотраслевых мер, в своем анализе она не рассматривала меры, которые могут осуществляться в других секторах.
- b) Темпы роста общего объема перевозок оказывают существенное влияние на остаточную эмиссию CO<sub>2</sub> к 2050 году и в последующий период.
- c) Наибольшее воздействие на остаточную эмиссию CO<sub>2</sub> оказывают виды смешанного топлива, благодаря которым обеспечивается ее общее сокращение к 2050 году. Это в определенной степени не зависит от сценариев, связанных с технологиями и эксплуатацией. Что касается водорода как вида топлива, он, как представляется, не будет вносить существенный вклад к 2050 году (его доля в 2050 году будет составлять всего 1,9 %), однако его применение может увеличиться в 2050-х и 2060-х годах, если это будет технически осуществимо и коммерчески целесообразно.
- d) Воздушные суда с усовершенствованной конструкцией фюзеляжа и крыльев имеют очевидный потенциал для повышения топливной (энергетической) эффективности в системе международной авиации, как и воздушные суда с нестандартной конфигурацией, которые постепенно будут способствовать повышению эффективности. Совершенствование технологий продолжится и после 2050 года, когда эти виды воздушных судов начнут пополнять самолетные парки. Однако следует подходить с осторожностью к интерпретации абсолютных уровней эмиссии CO<sub>2</sub> с учетом допущений, использованных в моделировании: например, воздушные суда продолжают пополнять самолетные парки, но при этом с технологической точки зрения они остаются на уровне 2050 года (после 2050 года не предполагается дальнейшего совершенствования технологий), в результате чего уровень эмиссии CO<sub>2</sub> после 2050 года будет более высоким, чем можно было бы ожидать. Воздушные суда на водородном топливе будут иметь меньшую энергоэффективность в полете по сравнению с воздушными судами, работающими на смешанном топливе, при этом их сокращение эмиссии CO<sub>2</sub> зависит от жизненного цикла используемого водорода, и исходя из жизненного цикла производство смешанного топлива будет менее энергоэффективным, чем производство жидкого водорода.
- e) Анализ показывает, что существуют возможности для снижения эмиссии CO<sub>2</sub> за счет повышения эффективности полетов на всех этапах, включая такие нестандартные меры, как полет в строе.



- f) Затраты и инвестиции, связанные со сценариями, в основном определяются видами топлива (например, SAF), при этом признается, что дополнительные затраты на топливо (то есть минимальная цена продажи SAF по сравнению с обычным реактивным топливом) являются дополнительным стимулом для повышения топливной (энергетической) эффективности за счет авиационных технологий и эксплуатационных мер. Это также потребует определенных инвестиций со стороны правительств и отрасли.
  
- g) LTAG-TG подготовила ограниченное количество сценариев, чтобы отразить все более амбициозные планы в области технологий, эксплуатации и топлива, тем не менее существует множество иных путей, которые могут привести к достижению аналогичных уровней эмиссии CO<sub>2</sub>. Анализ LTAG-TG показывает, что сценарии и результаты LTAG являются надежными.

### 3. МЕТОДИКА

3.1 **Комплексные сценарии.** Три комплексных сценария были подготовлены для LTAG, чтобы охватить вопросы "готовности, достижимости и стремления".

3.1.1 **Комплексный сценарий 1 (IS1)**, отражающий "высокую степень готовности/достижимости и низкий уровень стремления". Этот наименее благоприятный или номинальный сценарий представляет текущие (2021 г.) ожидания от появления будущих технологий, эксплуатационной эффективности и наличия топлива. Он включает в себя ожидаемые способствующие факторы, касающиеся технологий, производства полетов и видов топлива, а также низкого уровня системных изменений, например, отсутствия существенных инфраструктурных изменений. Из всех трех сценариев этот требует минимальных усилий по реализации, хотя для отдельных участников процесса такие усилия, тем не менее, могут быть значительными.

3.1.2 **Комплексный сценарий 2 (IS2)**, описывающий "среднюю степень готовности/достижимости и средний уровень стремления". Этот расширенный или более амбициозный сценарий представляет собой нечто среднее между двумя другими сценариями – более быстрое развертывание будущих технологий, повышение эксплуатационной эффективности и более высокий уровень наличия топлива. Он предполагает большее количество способствующих факторов, касающихся технологий, производству полетов и видов топлива и повышение уровня системных изменений, например, ограниченные инфраструктурные изменения. Из всех трех сценариев этот требует умеренных усилий по реализации.

3.1.3 **Комплексный сценарий 3 (IS3)**, представляющий "низкую степень готовности/достижимости и высокий уровень стремления". Этот активный или крайне амбициозный сценарий представляет собой максимально возможный уровень усилий с точки зрения развертывания будущих технологий, эксплуатационной эффективности и наличия топлива. Он предполагает максимальное количество способствующих факторов, касающихся технологий, производства полетов и видов топлива и высокий уровень согласованных в международном масштабе системных изменений, например, существенное и широкое изменение аэропортовой и энергетической инфраструктуры. Из всех трех сценариев этот требует самых больших усилий по реализации.

3.1.4 Все сценарии даны в контексте комплексного сценария 0 (IS0), который представляет собой сокращение эмиссии посредством эволюции самолетного парка на основе авиационной технологии, замороженной на уровне 2018 года и без дополнительного совершенствования эксплуатационных мер и видов топлива. Этот сценарий IS0, идентичный базовому сценарию CAEP/12, касающемуся тенденций, включает в себя преимущества обновления парка, благодаря чему авиакомпании инвестируют значительные средства в приобретение новых воздушных судов (даже если технология заморожена на уровне 2018 года). CAEP не моделировал сценарий "заморозки топливной эффективности на уровне 2018 года" в своей оценке тенденций или анализе LTAG-TG. Такой дополнительный сценарий покажет тенденции в области расхода топлива и сокращения эмиссии CO<sub>2</sub> на уровне, превышающем сценарий IS0 (базовый), и отразит такое повышение за счет обновления парка авиакомпании. Это ни в коем случае не изменит результаты исследования, проведенного LTAG-TG.

3.2 **Структура моделирования.** Признавая, что задача LTAG-TG состоит в том, чтобы оценить осуществимость возможных будущих сценариев, LTAG-TG воспользовалась инструментами и методиками Исследовательской группы по прогнозированию и экономическому анализу (FESG) и Группы по моделированию и базам данных (MDG) для оценки тенденций CAEP. Сюда

вошло использование результатов самой последней оценки тенденций, проведенной CAEP/12. Для такой работы базовым годом для анализа LTAG были установлен 2018 год и период времени до 2070 года, чтобы иметь возможность наблюдать воздействие новых технологий, которые вводятся в парк воздушных судов в 2050 году. Прогнозы были сделаны Группой FESG для представления низких, средних и высоких уровней международных перевозок в период после окончания пандемии COVID в соответствии с оценкой тенденций.

3.3 **Оценка затрат (инвестиции).** Была проведена количественная оценка затрат и инвестиций (например, неперiodические издержки, затраты на топливо, капитальные расходы), связанных со сценариями LTAG, для подготовки картины распределения общих и временных затрат и инвестиций по различным группам заинтересованных сторон. В случае определения потенциальных затрат/инвестиций и экономических последствий, которые невозможно рассчитать количественно, их описание было дано с точки зрения качества.

## 4. КРАТКИЙ ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ

### 4.1 Введение

4.1.1 Данный краткий обзор результатов структурирован таким образом, чтобы рассмотреть приведенные ниже вопросы.

- Как секторальные меры (т. е. технология, производство полетов и видов топлива) помогают сократить эмиссию CO<sub>2</sub> от международной авиации до 2050 года и далее? (раздел 4.2)
- С учетом данных о тенденциях эмиссии CO<sub>2</sub> для каждого сценария, каковы будут совокупные данные по эмиссии международной авиации? Насколько такая совокупная авиационная эмиссия соответствует требованиям ограничить глобальное повышение температуры в диапазоне от 1,5 до 2 °C? (раздел 4.3)
- Какие требуются инвестиции, чтобы поддержать внедрение секторальных мер, связанных с каждым сценарием? Каковы будут стоимостные последствия для заинтересованных сторон авиации? (раздел 4.4)
- Каковы будут последствия различных будущих объемов воздушного движения? (раздел 4.5)
- Насколько чувствительны результаты к допущениям в сценариях? (раздел 4.6)

### 4.2 Тенденции в сфере эмиссии CO<sub>2</sub> международной авиации

4.2.1 Используя принципы моделирования, описанные в разделе 3.2, CAEP оценил объем эмиссии CO<sub>2</sub> международной авиации по каждому сценарию IS1, IS2 и IS3. Если не указано иное, результаты даны применительно к среднесрочному прогнозу перевозок.

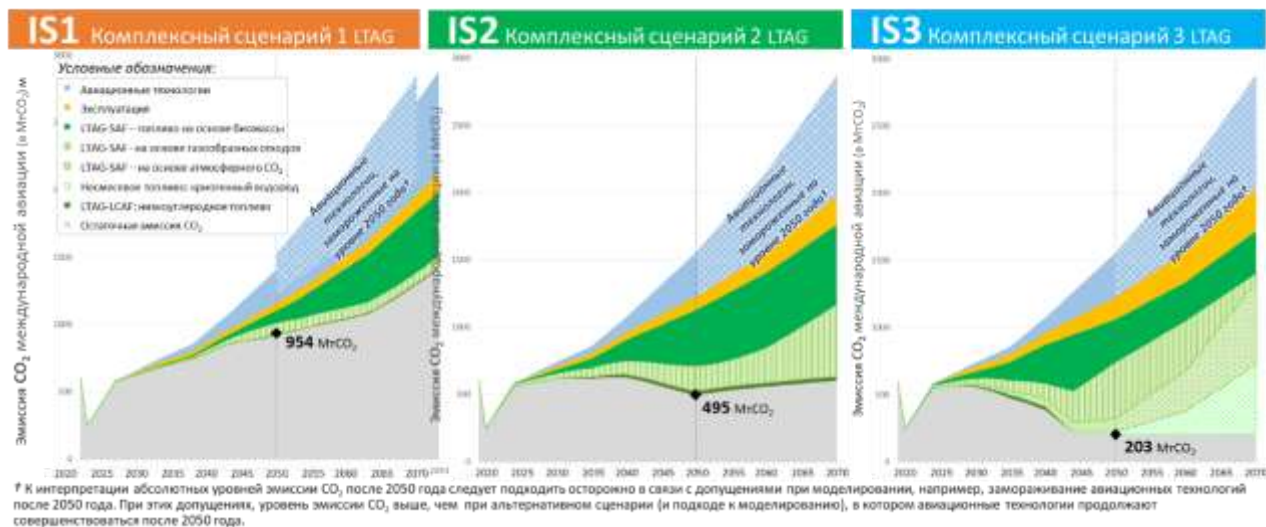


Диаграмма 1. Эмиссия CO<sub>2</sub> международной авиации, связанная с комплексными сценариями LTAG

4.2.2 Согласно сценарию IS1, эмиссия CO<sub>2</sub> после сокращения за счет авиационных технологий, эксплуатационных мер и видов топлива может составить приблизительно 950 МтCO<sub>2</sub> в 2050 году (1,6х уровня эмиссии CO<sub>2</sub> 2019 года) и 1420 МтCO<sub>2</sub> в 2070 году (2,3х). Согласно данному наименее благоприятному/номинальному сценарию, объем эмиссии в 2050 году будет сокращен на 39 % по сравнению с базовым сценарием (IS0) со следующей разбивкой: на 20 % за счет авиационных технологий, 4% за счет эксплуатационных мер и на 15 % за счет видов топлива. К 2070 году авиационные технологии, эксплуатационные меры и виды топлива могут привести к сокращению эмиссии на 26 %, 5 % и 20 %, соответственно. Согласно этому сценарию, остаточная эмиссия CO<sub>2</sub> не стабилизируется и превысит уровень эмиссии CO<sub>2</sub> 2019 года (на замену уровня 2020 года до COVID-19). По 2050 год включительно глобальная топливная эффективность, выражаемая в виде расхода топлива на коммерческий тонно-километр, улучшится на 1,20–1,31 % в год (по сравнению с амбициозной целью ИКАО повысить эффективность расхода топлива на 2 %).

4.2.3 В сценарии IS2 объем эмиссии CO<sub>2</sub> может составить приблизительно 500 МтCO<sub>2</sub> в 2050 году (0,8х объема эмиссии CO<sub>2</sub> 2019 года) и стабилизироваться примерно на уровне эмиссии CO<sub>2</sub> 2019 года. Объем эмиссии в 2050 году сократится на 68% по сравнению с базовым уровнем IS0 со следующей разбивкой: на 21 % за счет авиационных технологий, 6 % за счет эксплуатационных мер и на 41 % за счет видов топлива. По 2050 год включительно глобальная топливная эффективность, выражаемая в виде расхода топлива на коммерческий тонно-километр, улучшится на 1,35–1,47 % в год (по сравнению с глобальной амбициозной целью ИКАО повысить эффективность расхода топлива на 2 %).

4.2.4 В сценарии IS3 остаточная эмиссия CO<sub>2</sub> может составить приблизительно 200 МтCO<sub>2</sub> в 2050 году (треть от объема эмиссии CO<sub>2</sub> в 2019 году) и 210 МтCO<sub>2</sub> в 2070 году. Объем эмиссии в 2050 году сократится на 87 % по сравнению с базовым сценарием (IS0) со следующей разбивкой: на 21 % за счет авиационных технологий, 11 % за счет эксплуатационных мер и на 55 % за счет видов топлива. По 2035 год включительно глобальная топливная эффективность, выражаемая в виде расхода топлива на коммерческий тонно-километр, улучшится на 1,42–1,60 % в год. Согласно этому сценарию, который предусматривает использование несмесевого топлива, такого как водород, глобальная амбициозная цель ИКАО повысить эффективность расхода топлива на 2 % становится неактуальной (на основе показателя расхода реактивного топлива на коммерческий тонно-километр) и потребует корректировки. По 2050 год включительно глобальная эффективность энергии топлива, выражаемая в виде МДж/КТК, улучшится на 1,55–1,67 % в год.

### 4.3 Будущая эмиссия международной авиации в конкретных условиях

4.3.1 На основе тенденций в сфере эмиссии CO<sub>2</sub>, описанных в разделе 4.2, САЕР рассчитал совокупный объем эмиссии CO<sub>2</sub> международной авиации по 2050 и 2070 годы включительно (см. диаграмму 2). Сценарий IS1 приведет к совокупной остаточной эмиссии международной авиации в размере 23 ГтCO<sub>2</sub> с 2020 по 2050 годы и 23 ГтCO<sub>2</sub> с 2051 по 2070 годы. Сценарий IS2 приведет к эмиссии международной авиации в размере 17 ГтCO<sub>2</sub> с 2020 по 2050 годы и к 11 ГтCO<sub>2</sub> с 2051 по 2070 годы. Сценарий IS3 приведет к эмиссии международной авиации в размере 12 ГтCO<sub>2</sub> с 2020 по 2050 годы и к 4 ГтCO<sub>2</sub> с 2051 по 2070 годы.

4.3.2 Далее САЕР поместил эти результаты в контекст глобальных углеродных бюджетов для ограничения глобального потепления диапазоном от 1,5 до 2 °С, используя данные Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Исследования МГЭИК и САЕР проводятся по различным методикам со их собственными неопределенностями, как описано в добавлении R3, но результаты сравнения, тем не менее, представляют определенную ценность.

4.3.3 В конкретных условиях объем совокупной остаточной глобальной антропогенной эмиссии CO<sub>2</sub> с начала 2020 года для ограничения глобального потепления 1,5 °С оценивается в 400 ГтCO<sub>2</sub> с вероятностью 67%. В зависимости от сценария доля международной авиации может составлять приблизительно 4,1–11,3 % от этого общего количества. Для ограничения потепления двумя градусами (2 °С) оставшаяся допустимая эмиссия углерода, по оценкам, может составить 1150 ГтCO<sub>2</sub> с вероятностью 67 %. В зависимости от сценария доля международной авиации может составлять приблизительно 1,4–3,9 % от этого общего количества. Сравнения на основе 50 %-ной вероятности достижения температурных целей представлены в добавлении R3 дополнения А.

### 4.4 Затраты и инвестиции, связанные с комплексными сценариями

4.4.1 САЕР оценил затраты и инвестиции, связанные со сценариями LTAG (см. краткий обзор на диаграмме 3, а в добавлениях – подробности и распределение по времени и пр.). Важно отметить, что затраты и инвестиции, связанные с каким-либо сценарием, не предназначены для включения в общие совокупные затраты. Некоторые инвестиции, сделанные заинтересованными сторонами выше по потоку передаются сторонам ниже по потоку в форме приростной цены продукции (например, инвестиции, сделанные поставщиками топлива, передаются эксплуатантам как часть минимальной отпускной цены). Таким образом, затраты и инвестиции отображаются по всей цепочке заинтересованных сторон.

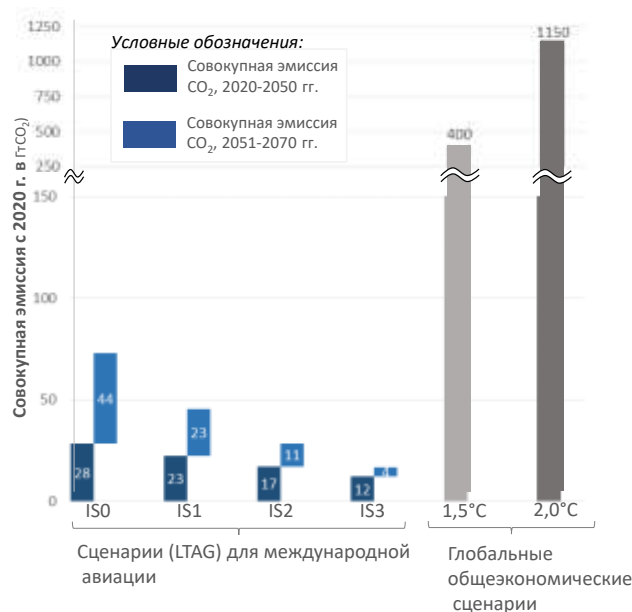


Диаграмма 2. Совокупный объем эмиссии CO<sub>2</sub> международной авиации в контексте 1,5 °С и 2 °С

4.4.2 **Инвестиции государств (т. е. правительств).** Для поддержки разработок в области авиационных технологий государствам, возможно, потребуется инвестировать в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. В рамках сценария IS1, инвестиции могут составлять от 15 до 180 млрд долл. США по 2050 год включительно. Чтобы поддержать разработки в области современной конфигурации воздушного судна и/или энергетических систем (т. е. воздушные суда на водородном топливе) в рамках сценариев IS2 и IS3, объем инвестиций может вырасти с 75 до 870 млрд долл. США.

4.4.3 **Инвестиции изготовителей воздушных судов.** Чтобы обеспечить технологические улучшения воздушного судна в рамках IS1, изготовителям воздушных судов потребуется инвестировать порядка 180 млрд долл. США (от 150 до 380 млрд долл. США) в период с 2020 по 2050 годы. На ежегодной основе это представляет примерно 6 млрд долл. США в год. Разработка воздушных судов с нетрадиционными конфигурациями (IS2) и воздушных судов на водородном топливе (IS3) потребует существенного увеличения инвестиций примерно на 350 млрд долл. США (в диапазоне от 260 до 1000 млрд долл. США) в период с 2020 по 2050 годы.

4.4.4 **Инвестиции поставщиков топлива.** Чтобы начать увеличивать мощности по производству топлива в рамках сценария IS1, поставщикам топлива потребуется инвестировать примерно 1300 млрд долл. США до 2050 года в следующей разбивке: 480 млрд долл. США для производства топлива SAF на основе биомассы к 2050 году (чтобы обеспечить использование 19 % энергии международной авиацией в 2050 году), 710 млрд долл. США для производства SAF на основе газообразных отходов (8 %) и 50 млрд долл. США на производство низкоуглеродного авиационного топлива (LCAF), отвечающего условиям LTAG (7%). Увеличение производства топлива в рамках сценария IS2 потребует инвестиций в размере 2300 млрд долл. США по 2050 год включительно. Наконец, в рамках сценария IS3 инвестиции составят примерно 3200 млрд долл. США в следующей разбивке: 950 млрд долл. США для производства топлива SAF к 2050 году (чтобы обеспечить использование 42 % энергии международной авиацией в 2050 году), 1700 млрд долл. США для производства SAF на основе газообразных отходов (46 %), 460 млрд долл. США для производства SAF из атмосферного CO<sub>2</sub> (10 %), 60 млрд долл. США для производства LCAF, отвечающего условиям LTAG (0 %) и 55 млрд долл. США для использования водорода (2 %). Эти капитальные расходы предназначены для новых проектов производства экологически чистых видов топлива и не были уменьшены за счет инвестиций, которые будут сделаны в сектор производства обычного топлива, которое будет необходимо в рамках базового (IS0) сценария. Кроме того, инвестиции, учитываемые в анализах, проведенных CAEP, приведут к экономическому развитию на местах (например, нефтеперерабатывающие заводы, которые используют для производства SAF возобновляемое сырье или сырье на основе отходов, будут способствовать экономическому развитию и созданию возможностей в сельских районах).

4.4.5 **Затраты и инвестиции для аэропортов.** Для целей внедрения эксплуатационных мер аэропортам может понадобиться израсходовать или инвестировать от 2 до 6 млрд долл. США в рамках сценариев LTAG. Кроме того, согласно сценарию IS3, в котором предусматривается введение в эксплуатацию после 2035 года воздушных судов на водородном топливе, аэропортам может потребоваться инвестировать в инфраструктуру порядка 100–150 млрд долл. США к 2050 году.

4.4.6 **Затраты и инвестиции для поставщиков авионавигационного обслуживания (ПАНО).** Конкретные эксплуатационные меры LTAG потребуют инвестиций и затрат для ПАНО в размере от 11 до 20 млрд долл. США к 2050 году.

4.4.7 **Затраты и инвестиции для эксплуатантов (авиакомпаний).** Ввод в эксплуатацию технически усовершенствованных воздушных судов сократит расход топлива и эксплуатационные затраты авиакомпаний на топливо примерно на 710–740 млрд долл. США по 2050 год включительно. Могут потребоваться дополнительные инвестиции на покрытие любого повышения стоимости воздушного судна (после технических усовершенствований), которые сократят авиакомпаниям чистую экономию от технических усовершенствований воздушного судна. Внедрение эксплуатационных мер может снизить затраты эксплуатантов на топливо примерно на 210–490 млрд долл. США по 2050 год включительно, но потребует дополнительных затрат и инвестиций в размере от 40 до 155 млрд долл. США. Связанные с топливом затраты в форме увеличения цен на виды топлива (минимальная цена продажи) по сравнению с обычным реактивным топливом в базовом сценарии окажут самое большое влияние на эксплуатантов. В сценарии IS1 приобретение топлива авиакомпаниями может привести к увеличению затрат по сравнению с обычным реактивным топливом на 1100 млрд долл. США со следующей разбивкой: 300 млрд долл. США, 770 млрд долл. США и 50 млрд долл. США, соответственно, на SAF, производимое на основе биомассы, SAF, производимое на основе отходов, и LCAF. Затраты на топливо в рамках IS2 увеличатся до 2700 млрд долл. США. Наконец, в рамках сценария IS3, в котором предусматривается 100%-ная замена обычного реактивного топлива другими видами топлива, начиная с 2040 года, затраты для авиакомпаний достигнут 4000 млрд долл. США по 2050 год включительно (в следующей разбивке: 1600 млрд долл. США, 1800 млрд долл. США, 600 млрд долл. США, 60 млрд долл. США и 10 млрд долл. США соответственно, на SAF, производимое на основе биомассы, SAF, производимое на основе отходов, SAF, производимое на основе атмосферного CO<sub>2</sub>, LCAF и водородное топливо).



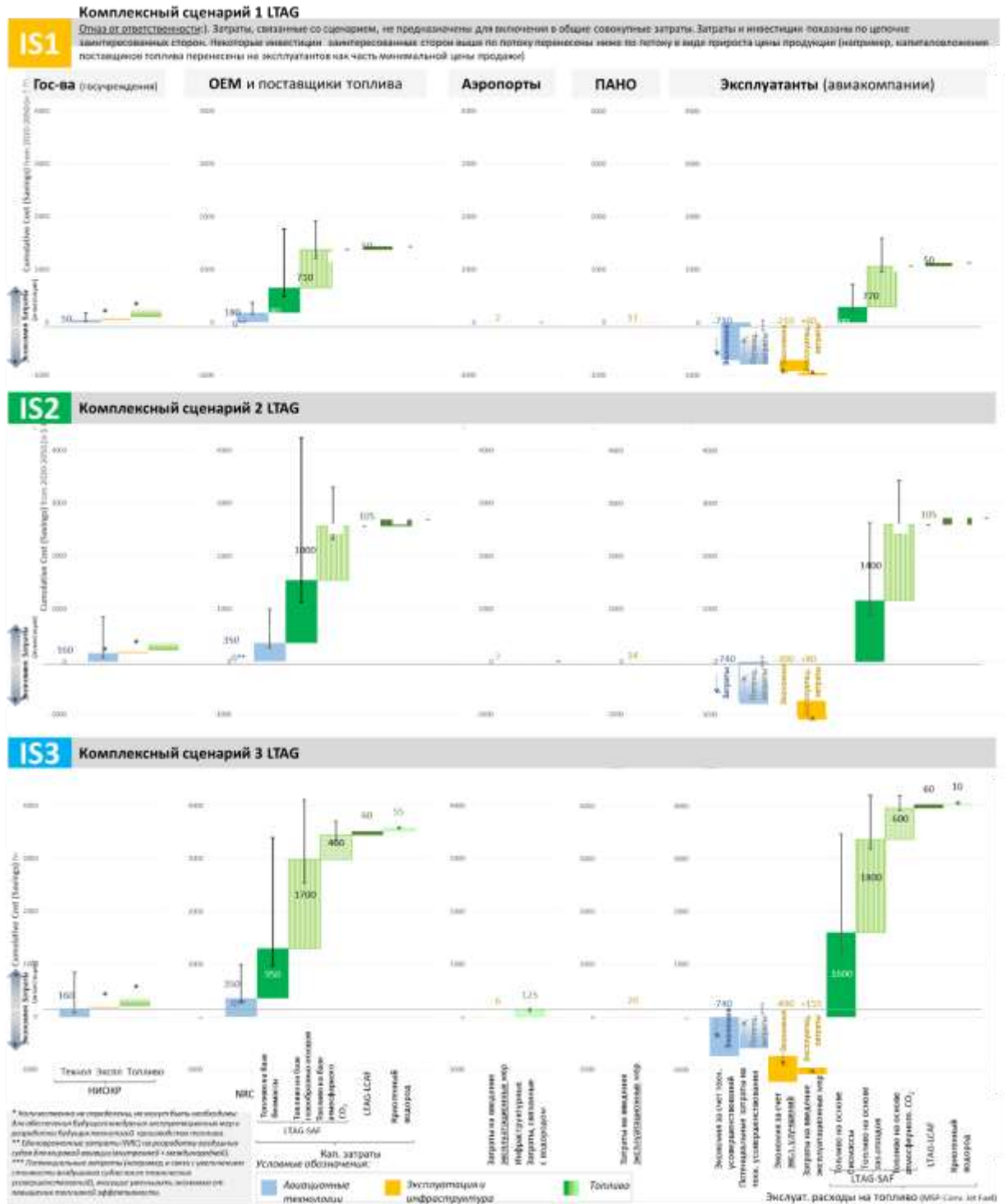


Диаграмма 3. Суммарные затраты и инвестиции, связанные с комплексными сценариями LTAG

#### 4.5 Влияние прогнозов авиаперевозок

4.5.1 Сценарии, описанные выше, основаны на среднесрочном прогнозе перевозок. CAEP также оценил потенциальное влияние долгосрочных и краткосрочных прогнозов перевозок. На диаграмме 4 показан уровень остаточной эмиссии CO<sub>2</sub> международной авиации (после усовершенствования авиационных технологий и эксплуатационных мер и сокращения эмиссии за счет LTAG-SAF, LTAG-LCAF и использования несмесевого топлива, т. е. водорода, где применимо) по всем сценариям LTAG и различным уровням прогнозов перевозок.

4.5.2 Согласно сценарию IS1, эмиссия CO<sub>2</sub> в 2050 году может быть в диапазоне от 730 до 1160 МтCO<sub>2</sub> или +/-23% по отношению к среднесрочному сценарию воздушного движения и от 920–1880 МтCO<sub>2</sub> (+/-35% по отношению к среднесрочному сценарию воздушного движения) в 2070 году. Согласно сценарию IS2, эмиссия CO<sub>2</sub> в 2050 году может быть в диапазоне от 420 до 590 МтCO<sub>2</sub> (+/-16% по отношению к среднесрочному сценарию воздушного движения) до 490–950 МтCO<sub>2</sub> в 2070 году (от +58% до -18% по отношению к среднесрочному сценарию воздушного движения) в 2070 году. Наконец, в рамках сценария IS3 прогнозы перевозок могут влиять на уровни остаточной эмиссии CO<sub>2</sub> в 2050 году в пределах от 150 до 260 МтCO<sub>2</sub> (+/-27 % по отношению к среднесрочному сценарию воздушного движения) и от 130–280 МтCO<sub>2</sub> в 2070 году (+/-38% по отношению к среднесрочному сценарию воздушного движения).

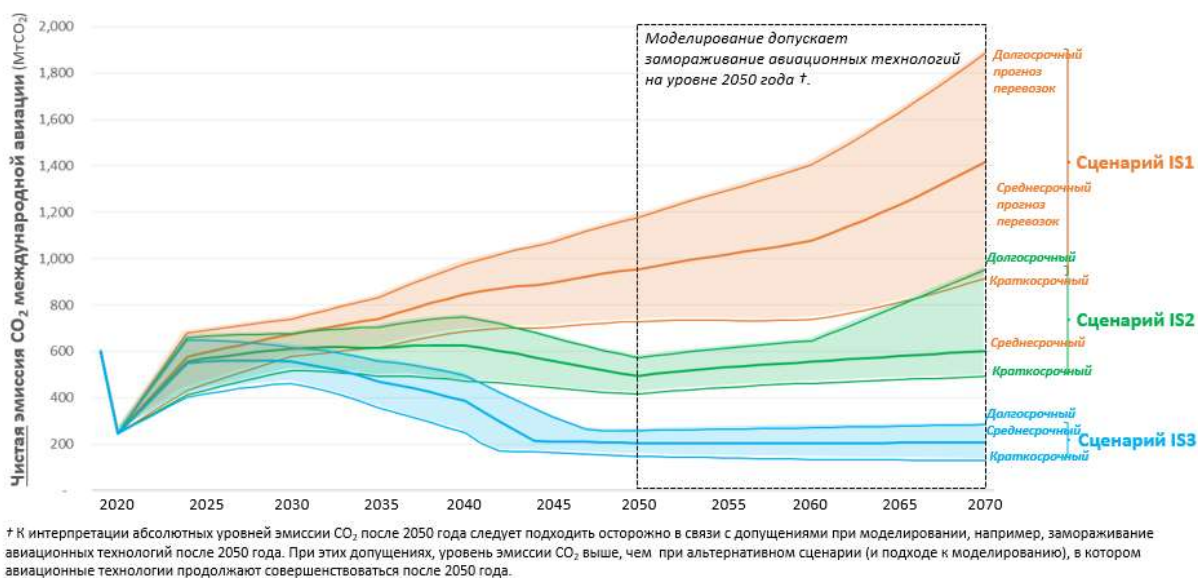
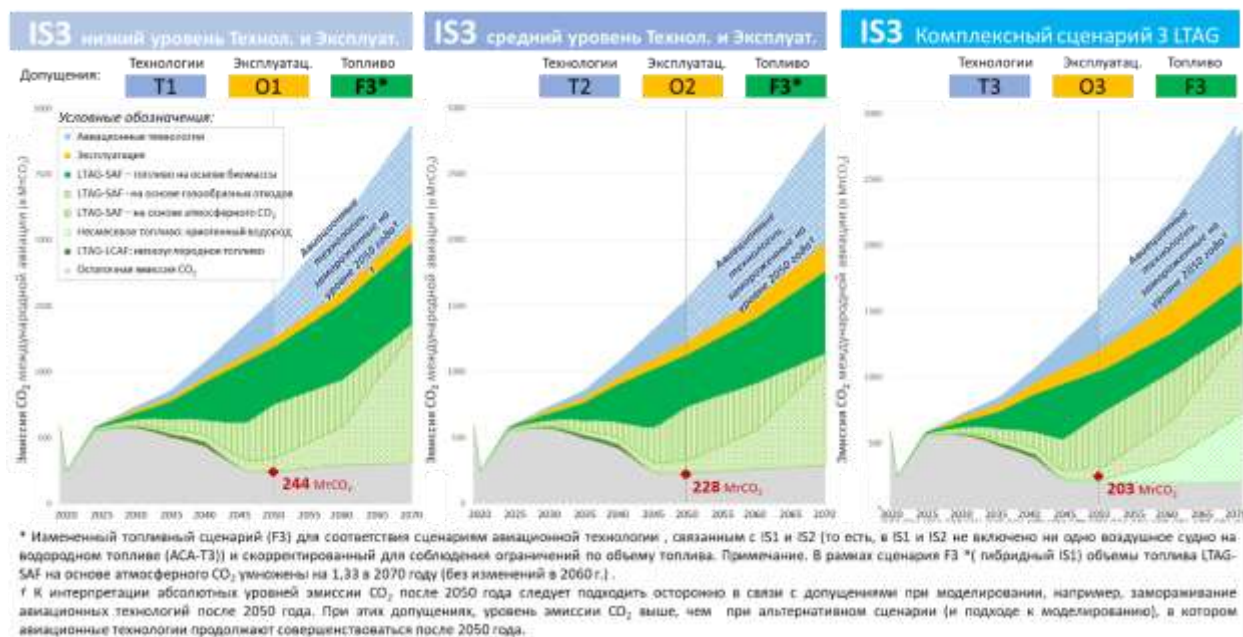


Диаграмма 4. Влияние прогнозов перевозок на остаточную эмиссию CO<sub>2</sub>  
по всем комплексным сценариям LTAG

#### 4.6 Анализ чувствительности сценария IS3 для оценки значения топлива

4.6.1 Как описано в разделе 3.1 "Комплексные сценарии" и продемонстрировано в разделе 4.2 "Тенденции в сфере эмиссии CO<sub>2</sub> международной авиации", Целевая группа LTAG подготовила три комплексных сценария, в которых рассматриваются уровни остаточной эмиссии CO<sub>2</sub> с учетом технологий, эксплуатации и топлива. При обсуждении вопроса о разработке комплексных сценариев Целевая группа LTAG признала, что могут иметь место различные комбинации сценариев, касающихся технологии, эксплуатации и топлива, для подготовки "альтернативных комплексных сценариев", которые не исследованы исчерпывающим образом в отличие от "комплексных сценариев". Кроме того, подгруппы по технологии, эксплуатации и топливу подготовили несколько оценок, касающихся сценариев с конкретными мерами. Например, Подгруппа LTAG-TG по технологиям подготовила оценки динамики развития в области технического усовершенствования воздушных судов в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе (см. более подробно добавление M5). Подгруппа LTAG-TG по эксплуатационным усовершенствованиям подготовила оценки эксплуатационных улучшений в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе. Эти различные комбинации сценариев конкретных мер и диапазоны оценок обеспечили основание для анализа чувствительности по конкретным сценариям.

4.6.2 На диаграмме 5 представлены показательные анализы чувствительности сценариев IS3 с более низким уровнем технических и эксплуатационных улучшений. Правая диаграмма аналогична диаграмме 1. Средняя диаграмма иллюстрирует средний уровень технологии и эксплуатации, когда современное воздушное судно с интегрированным фюзеляжем и крылом и нетрадиционное воздушное судно используют смешанные виды топлива в соответствии со сценарием для топлива (F3), что приводит приблизительно к 228 МтСО<sub>2</sub> к 2050 году. Точно так же в сценарии с более низким уровнем технических и эксплуатационных улучшений и со скорректированным сценарием F3 для обеспечения внутренней последовательности в рамках сценария, эмиссия CO<sub>2</sub> к 2050 году может достичь уровня 244 МтСО<sub>2</sub>. Эти результаты показывают наличие разнообразных путей, которые могут привести к аналогичным уровням эмиссии CO<sub>2</sub>. Они также демонстрируют надежность сценариев и анализов LTAG, а также важный вклад видов топлива в устранение связи между ростом объема международных авиаперевозок от создаваемой ими эмиссии CO<sub>2</sub>.



**Диаграмма 5. Анализ чувствительности сценариев IS3 с более низким уровнем технических и эксплуатационных усовершенствований**

4.6.3      Анализы чувствительности не касаются технологий, поскольку сокращение эмиссии существенно не меняется в трех сценариях в области технологии. Кроме этого, анализы чувствительности не представлены в отношении условий эксплуатации из-за относительно скромного сокращения эмиссии в этой области по сравнению с показателями в области топлива и технологии.

## 5. ЗАМЕЧАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ВАРИАНТОВ ДЕЙСТВИЙ

5.1 На основе результатов исследования по вопросу осуществимости LTAG, проведенного TG, ниже определены некоторые технические варианты метрических показателей, которые могут способствовать обсуждению осуществимости возможной долгосрочной амбициозной цели. Это не исчерпывающий список, и, конечно же, можно рассмотреть и другие предложения.

- a) **Ежегодный уровень эмиссии**, потенциально достигаемый за счет мер; например 950, 500 или 200 МтСО<sub>2</sub> в 2050 году (на основе оценки комплексных сценариев). Использование в качестве базисного год до 2050 года может не дать долгосрочной уверенности, ожидаемой в качестве ключевой выгоды принятия LTAG. Использование в качестве базисного год после 2070 года сопряжено с повышенным уровнем неопределенности, учитывая факторы неопределенности в основном прогнозе и в процессе внедрения передовых технологий в глобальный парк судов, и, исходя этого анализа, не обязательно может повысить уровень стремления в секторе.
- b) **Промежуточные показатели** в ключевые годы могут добавить новый вектор развития в ситуацию с эмиссией.
- c) **Совокупный полный объем эмиссии международной авиации в течение определенного периода**, например 23, 17 или 12 ГтСО<sub>2</sub> в период с 2020 по 2050 годы (на основе оценки комплексных сценариев). Совокупный полный объем эмиссии сектора наиболее точно трансформируется в изменение температуры воздуха и позволяет контролировать ситуацию не прибегая к промежуточным показателям. В других случаях применяются приводимые выше доводы.

5.2 Круг полномочий LTAG-TG был ограничен только рассмотрением секторальных мер, и применяемые в других секторах меры в анализе LTAG-TG не рассматривались.

## 6. ДРУГИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

6.1 **Последствия для роста перевозок.** CAEP рассмотрел потенциальные последствия с точки зрения общих затрат (и инвестиций), связанных с мерами, которые лягут в основу сценариев LTAG, касающихся роста перевозок. Несмотря на трудности проведения количественной оценки этих последствий для роста перевозок в далекой перспективе, CAEP отметил, что, хотя достижение LTAG может увеличить эксплуатационные затраты, часть затрат может быть перенесена на пассажиров. Учитывая относительно более низкую эластичность цены, связанной с международной авиацией (и ограниченные альтернативы путешествия для поездок на большие расстояния), последствия для роста перевозок могут носить ограниченный характер. Некоторое проанализированные исследования выявили статистически значимые различия между различными географическими рынками авиаперевозок. Основные выявленные факторы, способствующие возможному повышению эластичности, включают в себя низкую степень развитости рынка, преобладание более коротких маршрутов, появление перевозчиков-лоукостеров и наличие чартерных авиакомпаний, возникновение среднего класса и наличие либерального регулирования в сфере ценообразования. Кроме того, ожидается, что авиация продолжит приносить пользу национальной, региональной и мировой экономике.

6.2 **Краткий обзор региональных последствий.** Авиационные технологии и соответствующие проектные решения будут по-прежнему отвечать потребностям мирового рынка и не будут отличаться в зависимости от региона. Эксплуатанты воздушных судов в различных регионах или государствах будут приобретать самые лучшие воздушные суда, имеющиеся на рынке и удовлетворяющие их потребности. Ожидается также появление региональных различий при внедрении эксплуатационных мер. Большая часть значительных региональных изменений ожидается в сфере производства и использования видов топлива. Это происходит из-за ряда факторов, таких как региональная доступность сырья в виде отходов и биомассы, CO<sub>2</sub> и криогенного водорода, возобновляемых источников энергии, динамики рынка и наличия инфраструктуры.

6.3 **Последствия в отношении шума и качества воздуха.** Во всех трех сценариях увеличение объема перевозок приведет к повышению общего уровня шума и эмиссии NO<sub>2</sub>. Однако вопросы шума и качества местного воздуха останутся приоритетными, особенно в отдельных аэропортах, местные правила которых и сборы продолжают оказывать влияние на некоторые конструкции воздушных судов. Достижения в области авиационной технологии, как правило, обеспечивают снижение уровня шума и эмиссии наряду со снижением расхода топлива. Повышение эксплуатационной эффективности может также способствовать снижению шума, но, ожидаемо, не повлияет на качество местного воздуха. LTAG-SAF и криогенный водород имеют более низкий уровень эмиссии твердых частиц и не генерируют выбросы сульфата, создавая дополнительные преимущества в плане качества воздуха и создания инверсионного следа, при этом последствия с точки зрения шума не ожидаются.

6.4 **Сравнение с тенденциями CAEP/12.** Объемы эмиссии CO<sub>2</sub> по трем сценариям LTAG-TG (IS1, IS2 и IS3) сравнивались с эмиссией, рассчитанной согласно топливному сценарию 4 в рамках анализа экологических тенденций до 2050 года, проведенного CAEP/12. Базовые условия (обозначенные как IS0 для LTAG-TG) идентичны обоим исследованиям. Остаточная секторальная эмиссия согласно сценарию IS2 LTAG-TG очень близка к эмиссии согласно топливному сценарию 4 в рамках анализа тенденций, проведенного CAEP/12. Комплексные сценарии IS1 и IS3 LTAG-TG предлагают, соответственно, более высокие и более низкие уровни эмиссии CO<sub>2</sub>, чем сценарий в анализе тенденций до 2050 года, проведенном CAEP/12. Подробная информация предоставлена в добавлении R2.

6.5 **Дорожная карта внедрения.** Авиационные технологии, совершенствование эксплуатационных мер и разработка и расширение масштабов производства видов топлива потребуют ряда способствующих факторов и условий в период до и после 2050 года. Они приведены в добавлении R1, и более подробную информацию можно получить в соответствующем методологическом добавлении.

6.6 **Контроль за процессом достижения цели.** Предусматривается процедура контроля за процессом достижения любой принятой в конечном счете цели. Желательно не дублировать существующие процессы или рассчитывать на отчетность негосударственных организаций. Планы действий государств, добровольно предоставляемые государствами в соответствии с пунктом 10 резолюции A40-18, могут позволить государствам проводить обмен информацией относительно реализации процесса достижения цели. После принятия цели САЕР может провести будущую работу по подготовке рекомендаций по системе показателей, механизмам отчетности и пр., исходя из опыта подготовки механизмов отчетности об эмиссии CO<sub>2</sub>, описанных в томе IV Приложения 16.

6.7 **Обзор.** Чтобы обеспечить актуальность любой принятой в конечном счете цели ИКАО может потребоваться провести ее анализ, исходя из такой информации, как процесс достижения цели, технические разработки, прогресс в других секторах, стоимостные и другие последствия для государств и заинтересованных сторон авиации, последние научные знания. Если проводить обзор раз в три года, он может совпадать с совещаниями САЕР и Ассамблеями, рассматривающими ход работ и предлагающими рекомендации/принимающими решения в отношении любых корректировок, аналогично периодическому обзору CORSIA.

6.8 **Наращивание потенциала.** Также могут возникнуть потребности в мероприятиях по наращиванию потенциала и оказанию помощи для реализации сценариев, которые могут включать в себя практикумы по обсуждению решений, которые государства могут осуществить для достижения целей, в том числе вопросов понимания вероятных затрат и оказания помощи по мониторингу и измерению эмиссии CO<sub>2</sub> международной авиации, в рамках всеобъемлющей программы обучения, которая может быть аналогична успешной программе ACT-CORSIA.

## 7. ДОБАВЛЕНИЯ К ОКОНЧАТЕЛЬНОМУ ДОКЛАДУ

7.1 Этот краткий обзор исследования LTAG-TG является результатом двухлетней работы САЕР. В ряде вспомогательных документов предлагаются подходы к моделированию, методики, модели, допущения и результаты для обеспечения прозрачности и полноты информации.

7.2 Сводные таблицы (добавление R1) в окончательном докладе содержат дополнительную информацию о результатах, их интерпретациях и дорожных картах для внедрения технологических, эксплуатационных мер и мер, касающихся топлива. В добавлении R2 представлены результаты сравнения тенденций LTAG-TG (эмиссия CO<sub>2</sub>) с тенденциями в области парниковых газов (эмиссия CO<sub>2</sub>) САЕР/12. В добавлении R3 даны результаты исследования LTAG-TG в контексте совокупной эмиссии для ограничения повышения температуры диапазоном 1,5 и 2 °C. В заключение, в добавлении M1 представлена подробная информация о подходе к разработке сценариев, а также подходы к оценке затрат (инвестиции), о методиках и результатах. В добавлениях M2, M3, M4 и M5 представлена подробная информация о сценариях, касающихся прогнозирования, технологии, эксплуатации и топлива, соответственно. Также прилагаются добавление S1 о контексте науки о климате, которое включает в себя доклад ISG для LTAG-TG, и добавление B1, содержащее исходную информацию, в которой описаны общие действия и методы работы LTAG-TG.

### Список добавлений:

Добавление R1. Сводные данные	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR1.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR1.pdf</a>
Добавление R2. Сравнение с тенденциями	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR2.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR2.pdf</a>
Добавление R3. Результаты в контексте	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR3.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixR3.pdf</a>

### Добавления по методике

Добавление M1. Обзор подходов к моделированию, использованных при подготовке результатов	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM1.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM1.pdf</a>
Добавление M2. Прогноз	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM2.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM2.pdf</a>
Добавление M3. Технологии	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf</a>
Добавление M4. Эксплуатация	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM4.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM4.pdf</a>
Добавление M5. Топливо	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM5.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM5.pdf</a>



Добавление S1. Контекст науки о климате	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixS1.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixS1.pdf</a>
Добавление B1. Исходная информация	<a href="https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixB1.pdf">https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixB1.pdf</a>

-----