УДК 338.2

JEL F64, L51, O44

DOI: 10.17213/2312-6469-2020-4-121-139

ПРОБЛЕМЫ ЦЕЛЕПОЛАГАНИЯ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ¹

© *Е.В. Варюхина*^{*}, *В.В. Клочков*^{*,**} 2020

^{}Национальный исследовательский центр «Институт
им. Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Россия*

*^{**}Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
г. Москва, Россия*

На сегодняшний день мировым сообществом гражданской авиации сформированы цели по снижению удельной эмиссии углекислого газа на 2% в год и по снижению общей эмиссии даже при росте спроса на услуги гражданской авиации. Однако резервы сокращения эмиссии традиционными способами близки к исчерпанию. Необходимо комплексно учитывать все аспекты авиационной деятельности, включая разработку, производство, эксплуатацию и утилизацию воздушных судов, и полный жизненный цикл топлив, которые используются во всех процессах жизненного цикла воздушного судна. Неверно рассматривать влияние гражданской авиации на окружающую среду и климат, в частности, вызываемое ею увеличение парникового эффекта, изолированно от других сфер народного хозяйства. Наконец, авиацию не следует рассматривать лишь как загрязнителя окружающей среды. Возможно, применение авиации в различных отраслях позволит значимо сократить объемы вредных выбросов. В данной работе предложены новые принципы постановки целей развития международной гражданской авиации в области защиты окружающей среды с учетом перечисленных соображений.

Ключевые слова: гражданская авиация, целеполагание, защита окружающей среды, эмиссия загрязняющих веществ, жизненный цикл изделия, альтернативные виды топлива, парниковый эффект, углекислый газ, топливная эффективность.

PROBLEMS OF GOAL SETTING FOR THE DEVELOPMENT OF WORLD CIVIL AVIATION IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

© *E.V. Varyukhina*^{*}, *V.V. Klochkov*^{*,**} 2020

^{}National research center «N.E. Zhukovsky Institute», Zhukovsky, Russia*

*^{**}V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences Russian Academy
of Sciences, Moscow, Russia*

¹ Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 20-010-00589 «Разработка методологии и инструментария оценки эффективности вариантов государственной поддержки инновационных транспортных технологий в контексте новой климатической политики России.

To date, the global civil aviation community has set goals to reduce specific emissions by 2% per year and to reduce overall carbon dioxide emissions, even with an increase in demand for civil aviation services. However, the reserves for reducing emissions by traditional methods are close to being exhausted. It is necessary to take into account all aspects of aviation activities, including the development, production, operation and disposal of aircraft, and the full life cycle of fuels that are used in all processes of the aircraft's life cycle. It is incorrect to consider the impact of civil aviation on the environment and climate, and, in particular, the increase in the greenhouse effect caused by it, in isolation from other spheres of the national economy. Finally, aviation should not be viewed as just a polluter of the environment. Perhaps the use of aviation in various industries will significantly reduce the amount of harmful emissions. This paper proposes new principles for setting goals for the development of international civil aviation in the field of environmental protection, taking into account these considerations.

Keywords: civil aviation, goal setting, environmental protection, emissions, product lifecycle, alternative fuels, greenhouse effect, carbon dioxide, fuel efficiency.

Долгосрочные цели мировой гражданской авиации в области защиты окружающей среды

Поскольку традиционно рассматривается вредное воздействие авиации на окружающую среду (в виде эмиссии вредных веществ, шума на местности и звукового удара), столь же традиционно ставятся цели его минимизации. В свою очередь, они принимают форму сокращения или хотя бы ограничения суммарного объема выбросов гражданской авиации (здесь и далее, без ограничения общности, вредное воздействие сводится к выбросам, эмиссии), а также сокращения удельной эмиссии в расчете на единицу транспортной работы или иной продукции/услуг авиационной деятельности – включая авиационные работы и нетранспортные услуги (обычно объединяемые термином ПАНХ –применение авиации в народном хозяйстве).

Введем следующие условные обозначения:

$E^{\Gamma A}$ – суммарная эмиссия вредных веществ (определенных видов) непосредственно со стороны гражданской авиации, тонн;

$e^{\Gamma A}$ – удельная эмиссия со стороны гражданской авиации (здесь для упрощения рассматривается усредненная удельная эмиссия, хотя в реальности она зависит и от типа воздушного судна, ВС, и от конкретной его миссии, даже от фазы полета), тонн в расчете на летный час или единицу транспортной работы;

$q^{\Gamma A}$ – объем работы гражданской авиации (авиаперевозок или авиационных работ и услуг ПАНХ), выраженный в соответствующих единицах – летных часах, пассажиро- или тонно-километрах, гектарах обработанных сельхозугодий и т.п.

То есть

$$E^{\Gamma A} = e^{\Gamma A} \cdot q^{\Gamma A}.$$

Цели развития гражданской авиации в области защиты окружающей среды устанавливаются на международном уровне, в рамках ИКАО (International Civil Aviation Organization, ICAO). Также возможны национальные и даже локальные нормы и требования, более жесткие (но никогда не менее), чем универсальные.

Механизмы формирования целей развития международной гражданской авиации в области защиты окружающей среды таковы. В рамках ИКАО за это отвечает Комитет по охране окружающей среды от воздействия авиации (Committee for Aviation Environmental Protection, CAEP) [1]. CAEP является техническим комитетом Совета ИКАО, учрежденным в 1983 году. CAEP помогает Совету в разработке новой политики и принятии новых стандартов и рекомендуемых практик (SARPs), связанных с шумом и выбросами воздушных судов, а также в более общем плане с воздействием авиации на окружающую среду.

CAEP проводит специальные исследования по запросу Совета. Его сфера деятельности охватывает шум, качество местного воздуха и комплекс мер по сокращению выбросов парниковых газов международной гражданской авиацией. CAEP информирует Совет и Ассамблею ИКАО о глобальных тенденциях в области защиты окружающей среды, оценивает настоящее и будущее воздействие авиационного шума и выбросов авиационных двигателей. Глобальные тенденции (т.е. принятые профессиональным сообществом прогнозы и научные взгляды на воздействие авиации на окружающую среду и климат) имеют решающее значение для работы ИКАО, поскольку они служат надежным единым ориентиром для обоснованного обсуждения и принятия решений. Совет рассматривает и принимает рекомендации CAEP, включая поправки к рекомендованным практикам, и, в свою очередь, отчитывается перед Ассамблеей ИКАО, где, в конечном счете, и определяются основные направления политики ИКАО в области охраны окружающей среды.

В настоящее время в CAEP рассматриваются и критически переосматриваются следующие долгосрочные амбициозные цели мировой гражданской авиации в области защиты окружающей среды:

1. Ежегодное сокращение средней удельной эмиссии мировой гражданской авиации на 2%. На рис. 1 показаны результаты прогнозирования глобального потребления топлива в международной гражданской авиации с 2005 по 2040 гг. с последующей экстраполяцией до 2050 года¹. Прогноз изменения потребления топлива [2] учитывает вклад развития авиационной техники (воздушных судов – ВС и авиадвигателей), совершенствования организации воздушного движения и более рационального использования инфраструктуры (т.е. эксплуатационные усовершенствования) для сокращения потребления топлива.

¹ Метрические тонны на рисунке равны тоннам.

* Пунктирная линия в полосе технического вклада обозначает "Сценарий низкого вклада авиационной техники".
Примечание. Результаты были смоделированы для 2005, 2006, 2010, 2020, 2025, 2030 и 2040 гг. с последующей экстраполяцией до 2050 года.

Рис. 1. Потребление авиационного топлива международной авиацией, 2005-2050 гг.

На рисунке жирным пунктиром показано предполагаемое потребление топлива, если будет достигнута желательная цель 2 %-ного ежегодного повышения топливной эффективности. Оно продолжает возрастать, поскольку рост объема перевозок гражданской авиации, как ожидается, превысит 2% темп (с которым убывает удельная эмиссия). Из этих графиков видно, что такая цель не обеспечивает сокращения или хотя бы невосрастания общего объема потребления авиатоплива и, соответственно, эмиссии углекислого газа, которая пропорциональна объемам сжигаемого углеводородного топлива.

2. Углеродно-нейтральный рост (Carbon-Neutral Growth, CNG), который рассматривается как «фундаментальная веха на пути к безуглеродному будущему авиации». Суть этой цели в том, что прекращается рост нетто-эмиссии CO₂ от авиации, даже если спрос на услуги гражданской авиации продолжает расти:

$$\frac{\partial E^{\Gamma A}}{\partial t} \leq 0 \left| \frac{\partial q^{\Gamma A}}{\partial t} > 0, \right.$$

что в принципе достижимо лишь при условии опережающего (рост объема авиационных работ и услуг) сокращения удельной эмиссии:

$$\hat{e}^{\Gamma A} < 0; \left| \hat{e}^{\Gamma A} \right| > \hat{q}^{\Gamma A}.$$

Таким образом, достижение CNG призвано «уравновесить рост вклада авиационного сектора в мировую экономику и решение неотложной проблемы противодействия изменению климата» [3].

В свою очередь, цель сокращения удельной эмиссии может достигаться несколькими путями, включая:

- совершенствование авиационной техники (ВС и авиадвигателей), обновление парка ВС с заменой на более экономичные модели;
- совершенствование эксплуатационных процедур – организации воздушного движения, процессов обслуживания ВС в аэропортах (включая оптимизацию использования вспомогательных силовых установок, процедур руления и буксировки – например, без использования собственных двигателей ВС) и их функционирования, и т.п.;
- использование альтернативных видов топлива, обладающих пониженной удельной эмиссией углекислого газа, в том числе «устойчивых авиационных топлив» (Sustainable Aviation Fuel, SAF – в том же смысле, что и в термине «устойчивое развитие», т.е. производимых только из возобновляемых или неисчерпаемых природных ресурсов и источников энергии – например, биотоплив, либо водорода, полученного, в свою очередь, с использованием «зеленой» энергетики, и т.п.), а также «авиационных топлив с пониженным содержанием углерода» (Low Carbon Aviation Fuel, производимых из исчерпаемых природных ресурсов, но с применением «зеленых» технологий);

Проблема в достижении хотя бы таких целей (насколько они действительны, обсуждается ниже) состоит в том, что традиционные пути сокращения удельной эмиссии – за счет повышения топливной экономичности авиационной техники – уже близки к исчерпанию. На рис. 2 приведен тренд сокращения удельного (в расчете на пассажиро-километр) расхода топлива гражданских самолетов, где по вертикали показано, сколько процентов от удельного расхода топлива первого реактивного пассажирского самолета, британского Comet 4, составляет удельный расход топлива различных самолетов [4]. Тренд снижения удельного расхода топлива современными гражданскими самолетами показывает, что современные технологии достигли участка насыщения соответствующих S-образных кривых, подробнее см. [5].

И даже 2%-е ежегодное сокращение удельного расхода топлива на долговременных интервалах не удастся сохранить по естественным физическим причинам. Тем более неясно, как достичь снижения удельного расхода, опережающего рост объемов авиационных работ и услуг. Резервы сокращения эмиссии за счет совершенствования эксплуатационных процедур, организации воздушного движения, наземного обслуживания ВС, довольно значительны – можно сократить расход топлива за рейс и соответствующий объем эмиссии на десятки процентов. Но и они не безграничны.

Рис. 2. Тренды сокращения удельного расхода топлива гражданских самолетов,
% от удельного расхода Comet 4

Таким образом, возрастает актуальность альтернативных путей сокращения удельной эмиссии – перехода к альтернативным топливам и энергоносителям, новым типам силовых установок, в т.ч. без тепловых двигателей. Однако уровень готовности соответствующих технологий пока не позволяет рассчитывать на их массовое внедрение в гражданской авиации. Тем более это касается крупных ВС, выполняющих основной объем авиаперевозок.

Ставшие очевидными проблемы с достижимостью вышеописанных долгосрочных целей заставляют критически их пересматривать. Насколько они достижимы, а также результативны, именно с точки зрения защиты окружающей среды? И насколько продуктивен сам принцип минимизации объема выбросов гражданской авиации, суммарного и удельного? Необходимо критически осмыслить принципы целеполагания в области воздействия авиационной деятельности на окружающую среду и климат. Систематизируем основные требования, которые следует предъявлять к целям развития авиации и авиастроения в части защиты окружающей среды, а также к самой методологии целеполагания.

Обеспечение действенности поставленных целей с точки зрения конечного результата – защиты окружающей среды

Если исходить из того, что цели в области защиты окружающей среды должны способствовать сокращению вредного воздействия граждан-

ской авиации на окружающую среду и климат, тогда достижение этих целей должно приводить к значимым улучшениям (или, по крайней мере, не ухудшению) их состояния. При постановке перед авиационным сектором целей в области защиты окружающей среды необходимо прослеживать их ожидаемую результативность, действенность до конца, до интегральных показателей – например, показателей изменения климата или качества атмосферы.

Строго говоря, влияние авиации на окружающую среду реализуется по многим каналам, систематизированным, например, на рис. 3 (на основе источника [6]). То есть эмиссия парниковых газов, в т.ч. со стороны гражданской авиации, влияет на климат. В то же время известно, что доля мировой гражданской авиации в общей антропогенной эмиссии CO_2 составляет не более 2-3% (около 2% по данным [7], 2,4% по данным [8]), однако дает 32% от прироста в последние годы. В свою очередь, антропогенные источники CO_2 ответственны лишь за 3-4% его эмиссии [9]. Оценивая соотношение между антропогенной и природной составляющими в потоке CO_2 в атмосферу, следует отметить, что природная составляющая примерно в 25-30 раз больше антропогенной. Более того, естественный поток CO_2 между природными системами меняется от года к году, причем, этот поток в 20-30 раз больше среднего человеческого вклада. В то же время в долгосрочном плане он сбалансирован, в отличие от антропогенной эмиссии.

Рис. 3. Схематическое представление влияния вредных веществ, выделяемых при авиационной деятельности, на климат и благополучие людей

Природная составляющая потока CO_2 в атмосферу компенсируется природными же процессами, поглощающими углекислый газ – тогда как антропогенная составляющая, даже относительно малая, пока таких противовесов не имеет (хотя некоторые предложения на этот счет будут раскрыты далее).

Исследования влияния выбросов парниковых газов на климат, исследования самих глобальных изменений климата, в т.ч. содержащие динамические модели, весьма обширны и многочисленны. До настоящего момента нет абсолютного консенсуса в отношении:

- самой антропогенной природы наблюдаемых изменений климата;
- возможности сократить предполагаемые глобальные изменения климата (или даже обратить их) при условии прекращения антропогенного воздействия,

поскольку, даже если деятельность человека действительно способствовала выводу крупномасштабной системы из равновесия, нет гарантии, что прекращение воздействия позволит ей вернуться в прежнее равновесие. Например, один человек в самом деле может нечаянно вызвать лавину, однако прекращение соответствующих неосторожных действий не всегда позволит вернуть всё в прежнее состояние (и даже значительных усилий может быть недостаточно хотя бы для остановки лавины).

Определяющее влияние научных выводов в экологии и климатологии на реальную политику в области защиты окружающей среды и социально-экономическое развитие целых отраслей, регионов и стран приводит к неизбежной политизации этих областей науки. Разумеется, здесь не ставится задачи приблизиться к истине в вышеприведенных фундаментальных вопросах, и будет принята за основу некоторая официальная точка зрения, безотносительно к ее научной достоверности. В рамках САЕР ИКАО были представлены и приняты за основу научные результаты [10], из которых, в частности, следует, что действенность вышеприведенных долгосрочных целей – даже «углеродно-нейтрального» роста – нуждается в дополнительном обосновании. Согласно указанному докладу группы климатологов, во-первых, даже при условии стабилизации ежегодного объема эмиссии CO_2 со стороны мировой гражданской авиации на уровне 2020 г., к 2050 г. накопленное влияние авиационных выбросов углекислого газа как парникового газа, а именно – вклад в изменение отражающей способности атмосферы – возрастет, по сравнению с 2020 г., в 1,5-2 раза, и, соответственно, прирост температуры продолжится. Цель удержания прироста средней температуры на Земле в пределах $1,5^\circ\text{C}$ при этом недостижима. Для того, чтобы достичь целей Парижского соглашения по климату (ст. 2А, 4), согласно принятым моделям, требуется к 2030 г. уже снизить антропогенные выбросы CO_2 на 45% относительно уровня 2010 г, с последующим сокращением до нуля к 2050 г.

Если мировая авиация желает внести вклад в предотвращение катастрофических изменений климата (еще раз подчеркнем: здесь приняты за основу вышеописанные климатические модели), ей категорически недостаточно ставить перед собой лишь цели «углеродно-нейтрального» роста, т.е. стабилизации суммарного объема эмиссии. Суммарная эмиссия должна не просто стабилизироваться, а сокращаться до нуля, т.е. авиация в перспективе не должна генерировать выбросов вообще, а не только лишь сохранять их на нынешнем уровне. Соответственно, удельная эмиссия должна не просто сокращаться обратно пропорционально объему работы гражданской авиации, а сократиться до нуля за конечное время. Технологически это, на первый взгляд, достижимо при отказе авиации от использования ископаемого топлива в тепловых двигателях.

Малая доля авиации в суммарной эмиссии не означает, что авиационный сектор не должен работать над сокращением объема выбросов со своей стороны (другой вопрос, что «сокращение выбросов силами гражданской авиации» не тождественно «сокращению выбросов гражданской авиации», о чем подробнее будет сказано ниже). Глобальный эффект достигим лишь в том случае, если все секторы мировой экономики и все страны предпримут усилия со своей стороны. Каждый участник должен стремиться внести свой вклад, не оглядываясь на то, внесут ли его прочие участники, и не отказываясь вносить свой вклад лишь потому, что ущерб от других участников больше. В противном случае возникает хорошо известная в теории игр и в экономике общественного сектора ситуация «проблемы безбилетника» [11]. Избежать ее негативных последствий можно лишь при условии, что все участники действуют сознательно и делают все, от них зависящее, как бы мал ни казался вклад каждого из них в отдельности.

Комплексный учет всех аспектов авиационной деятельности, всех стадий жизненных циклов авиационной техники и топлив

Для корректной оценки влияния новых технологий в авиации и политических решений на окружающую среду и климат, следует рассматривать в комплексе всю авиационную деятельность – не только коммерческую эксплуатацию воздушных судов, но и все процессы жизненного цикла авиационной техники, от разработки и производства до эксплуатации (включая техническую эксплуатацию парка авиационной техники) и утилизации. Без этих стадий жизненного цикла не была бы возможна и коммерческая эксплуатация авиационной техники, ее применение по назначению. И на всех стадиях жизненного цикла авиационной техники, строго говоря, имеет место воздействие на окружающую среду, в т.ч. негативное. Эмиссия вредных веществ происходит не только в эксплуатации.

Производство современных воздушных судов и авиационных двигателей сопровождается, помимо выбросов парниковых газов, прежде всего, CO₂, которому уделяется наибольшее внимание, и целым рядом прочих не-

гативных экологических эффектов, выбросами многих других вредных веществ. Например, это характерно для воздушных судов с гибридными и электрическими силовыми установками: аккумуляторы, топливные элементы могут содержать тяжелые и редкоземельные металлы, сама добыча и переработка которых приносит разнообразный вред окружающей среде.

Учет всех видов авиационной деятельности и всех стадий жизненного цикла авиационной техники позволяет более корректно оценивать эффективность и результативность инноваций в авиастроении, последствий обновления парка авиационной техники. Следует учитывать, что производство современных воздушных судов и авиадвигателей может быть весьма энергоемким, в т.ч. по причине высокой энергоемкости современных конструкционных материалов (например, полимерно-композитных). И хотя их применение как раз и призвано повысить энергетическую, топливную эффективность авиационной техники в эксплуатации, следует учитывать объем энергопотребления и выбросов вредных веществ на протяжении всего жизненного цикла [12].

В сумме за жизненный цикл, а также в удельном выражении, в расчете на летный час или единицу транспортной работы, современные воздушные суда, как правило, оказываются эффективнее (как с экономической, так и с точки зрения воздействия на окружающую среду и климат), чем изделия предыдущих поколений. Однако чаще всего приобретение новых воздушных судов происходит не «с чистого листа». Нередко замена авиационной техники на новую и более «зеленую» происходит принудительно в ускоренном порядке, когда имеющийся парк еще имеет остаток ресурса, но его дальнейшая эксплуатация запрещена или облагается штрафами, сборами и т.п. В этом случае объемы выбросов вредных веществ на производство новой, более «зеленой» авиационной техники, должны рассматриваться как дополнительные по отношению к продолжению эксплуатации уже имеющейся, произведенной ранее техники. Ускоренная замена парка авиационной техники будет эффективной с точки зрения воздействия на окружающую среду и климат, если удельный (в расчете на летный час или единицу транспортной работы) объем выбросов при производстве новой авиационной техники будет ниже, чем уменьшение удельной эмиссии в процессе эксплуатации. Но если новый тип воздушных судов имеет лишь незначительное преимущество перед имеющимися в удельном расходе топлива и удельной эмиссии вредных веществ, это может не привести к снижению эмиссии парниковых газов за жизненный цикл. Замедление темпов сокращения удельного расхода топлива, а также удельной эмиссии различных вредных веществ, как раз и создает риск такого противоречия, тем более что этот незначительный выигрыш достигается ценой использования весьма энергоемких конструкционных материалов.

Также следует рассматривать полный жизненный цикл всех энергоносителей, которые применяются в эксплуатации авиационной техники (а

также в ее производстве и других процессах жизненного цикла). Игнорирование этих аспектов приводит к искажениям эффективности с точки зрения снижения влияния на окружающую среду многих инноваций в этой сфере – например, новых видов авиационных топлив. В особенности это касается биотоплив, которые производятся из сельхозкультур, иногда весьма энергозатратных при культивации и выращиваемых, в т.ч., на месте лесов, что сокращает поглощающую способность биосферы и может создавать значительный «углеродный долг» при вырубке, сжигании, гниении биомассы и т.п. Более комплексный анализ, как правило, меняет оценки таких инноваций в менее оптимистическую сторону. Невнимание к «побочным» аспектам внедрения некоторых технологий, традиционно считающихся «зелеными», представляет собой т.н. *экологическое лицемерие* [13], которое не только приводит к ошибочным решениям, но, в конечном счете, подрывает доверие общества к любой природоохранной деятельности.

Учет альтернативных выбросов в секторе гражданской авиации и взаимодействующих секторах

Локальная минимизация затрат вообще не является корректным и продуктивным критерием принятия хозяйственных решений, что хорошо известно в экономике, см. [11]: минимум затрат достигается при сворачивании деятельности, что не всегда соответствует генеральным целям развития предприятия, отрасли, национальной экономики. Точно так же, и изолированная минимизация выбросов вредных веществ гражданской авиации (причем, именно совокупных выбросов) непродуктивна с точки зрения уменьшения воздействия на окружающую среду и климат в отдельной стране, регионе или мире в целом. Не следует ограничиваться только изолированным рассмотрением авиации и авиационной деятельности. Авиация – лишь часть народного хозяйства. И, например, воздушный транспорт – лишь один из видов транспорта, который конкурирует или дополняет другие – наземный (железнодорожный и автомобильный), водный.

При анализе проблем целеполагания в социально-экономической сфере (в части целевого применения авиационных систем) уже было показано, что узкий секторальный, отраслевой подход сильно ограничивает полезность авиации как таковой и эффективность технологических инноваций в авиастроении. Гораздо большего глобального эффекта можно достичь, рассматривая авиацию как составную часть народного хозяйства, разных его отраслей и комплексов. И тогда, возможно, расширенное применение авиации – пусть даже требующее гораздо больших затрат, чем изначально – позволит получить и гораздо больший выигрыш в «сопряженных» отраслях. Иначе говоря, применение авиации следует оптимизировать по глобальным критериям областей ее применения, а не по локальному критерию минимума затрат «на авиацию», выполняющую фиксированный объем работ.

Тот же подход справедлив и в сфере защиты окружающей среды. Необходима экономическая, а не «бухгалтерская» постановка целей в области снижения воздействия гражданской авиации на окружающую среду и климат. Она отличается более широким видением роли данного сектора в народнохозяйственной системе, учетом его многообразных связей с прочими секторами. Экономический подход подразумевает гибкость управляющих параметров, которые при бухгалтерском подходе считаются фиксированными, неизменными. Рассматривается больше степеней свободы в народнохозяйственной системе, что, в свою очередь, позволяет искать не локальный, а глобальный оптимум, в т.ч. по критериям воздействия на окружающую среду и климат.

Экономический подход к целеполаганию в сфере снижения воздействия гражданской авиации на окружающую среду и климат состоит в том, что учитывается не только фактический объем вредных выбросов со стороны авиации, но и альтернативный – каким был бы объем эмиссии во всем народном хозяйстве без применения авиации. Т.е. вполне возможно, что применение авиации в различных отраслях позволит значительно сократить объемы выбросов загрязняющих веществ, включая парниковые газы, токсичные и канцерогенные вещества. Формально в ранее введенных условных обозначениях это означает, что

$$\frac{\partial E^{\Sigma}}{\partial q^{\Gamma A}} < 0,$$

по крайней мере, до некоторого оптимального, по критериям воздействия на окружающую среду и климат, объема применения авиации $q_{\text{opt}}^{\Gamma A}$, хотя при этом суммарная эмиссия всей гражданской авиации возрастает:

$$\frac{\partial E^{\Sigma}}{\partial E^{\Gamma A}} < 0.$$

Приведем некоторые примеры.

1. Применение авиации в лесопожарной охране (как для патрулирования, обнаружения пожаров, управления и координации их тушения, так и собственно для тушения) позволяет сократить площади лесов, уничтожаемых пожарами, что сокращает выбросы CO_2 непосредственно при сгорании биомассы и увеличивает поглотительную способность лесов, снижает другие виды ущерба биосфере, наносимого лесными пожарами. Подчеркнем, что здесь рассматривается именно ущерб окружающей среде и климату, измеренный в единицах эмиссии вредных веществ, а не экономический.

Фактически, пожарная авиация, даже если ее воздушные суда непосредственно имеют высокие показатели удельной эмиссии, является значимым нетто-донором. Ее функционирование предотвращает (точнее, могло бы предотвращать, при условии организации полномасштабной, эффективной глобальной авиационной системы пожарной охраны) значительные

объемы эмиссии CO₂ и других продуктов сгорания, сравнимые с объемами эмиссии, создаваемыми всем мировым воздушным транспортом.

2. Применение авиации для патрулирования объектов топливно-энергетического комплекса, прежде всего, нефте- и газопроводов, способствуя своевременному обнаружению и локализации аварий и утечек, сокращает и ущерб окружающей среде – от разливов нефти, а при утечках на газопроводах – и от утечки углеводородных газов, которые, как, например, метан, относятся к значимым парниковым газам. Тем более значим предотвращенный ущерб, если учитывать риск взрывов и пожаров, вызванных утечками и разрывами трубопроводов, которые, в свою очередь, могут привести к еще большим утечкам.

3. Применение авиации в сельском хозяйстве позволяет, во-первых, реализуя концепцию точного земледелия, резко сократить объемы применения химикатов и удобрений, при том же или лучшем качестве защиты растений. Тем самым сокращается многообразный ущерб природе от использования химикатов – здесь предотвращается не столько эмиссия CO₂, сколько выбросы гораздо более ядовитых веществ (причем, следует рассматривать как применение химикатов, так и процесс их производства). Кроме того, более эффективные агротехнологии, реализуемые с помощью авиации, могут сократить общий объем энергопотребления и выбросов парниковых газов во всем сельскохозяйственном производстве при том же объеме урожая.

При этом, разумеется, ВС, выполняющие патрулирование трубопроводов и лесов, участвующие в пожаротушении, сельхозработах и т.п. сами создают выбросы вредных веществ и в процессе эксплуатации, и ранее, при их производстве. Однако, как правило, объем предотвращаемого ущерба (или экономии выбросов различных вредных веществ, как в примере сельхозавиации) намного выше, что и определяет эффективность таких решений с точки зрения защиты окружающей среды. Экономический подход в противоположность бухгалтерскому предполагает учет альтернатив, в т.ч. предотвращенного ущерба.

Это применение авиации в «неавиационных» секторах (т.е. не на воздушном транспорте), тем не менее, вносит вклад в сокращение общих национальных и мировых объемов эмиссии вредных веществ. И потому этот вклад должен учитываться при определении национальных и глобальных объемов эмиссии – как фактических, так и целевых. Более того, сегодня реалистичный уровень отдачи от таких «непрямых» инноваций в гражданской авиации значительно выше, чем ожидаемая отдача собственно от сокращения выбросов на воздушном транспорте, где резервы уже близки к исчерпанию, как показано выше. Тем не менее, обсуждение таких решений в рамках международных организаций, в т.ч. САЕР ИКАО, встречает резкое противодействие ряда стран и групп влияния. Причина в том, что учет соответствующих аспектов сразу превращает Россию и некоторые другие

развивающиеся страны (например, Бразилию) из «отстающих» и «должников» в нетто-доноров остального мира. Это особенно актуально в связи с тем, что в рамках ИКАО уже внедряются механизмы торговли разрешениями на выбросы.

Как правило, предлагается исключить обсуждаемые возможности сокращения общей эмиссии вредных веществ благодаря применению авиации, поскольку, якобы, эти решения лежат за пределами гражданской авиации (как сферы ведения ИКАО), и полезные, с точки зрения защиты окружающей среды, эффекты применения авиации лежат «вне сектора». Однако отнесение вышеприведенных подсекторов ПАНХ к «неавиационным», не относящимся к гражданской авиации лишь на том основании, что это не воздушный транспорт – неверно и по существу, и даже формально. Следует подчеркнуть, что пожарная авиация, сельскохозяйственная и др. (как и вся сфера авиационных работ и услуг, ПАНХ) относится именно к гражданской авиации – как по классификации российского Воздушного кодекса, так и по классификации ИКАО, Чикагской конвенции о гражданской авиации (определяющей в том числе и создание ИКАО). Таким образом, отождествление гражданской авиации лишь с воздушным транспортом некорректно. Все приведенные примеры касаются именно гражданской авиации. И ряд подсекторов гражданской авиации являются нетто-донорами (поглотителями, или, точнее, предотвратителями выбросов).

Что касается применения гражданской авиации собственно в транспортной сфере, т.е. воздушного транспорта, и его некорректно рассматривать изолированно. Он является частью единой транспортной системы конкретной страны или мира. Поэтому, рассматривая объем эмиссии воздушного транспорта, следует учитывать, что он дополняет другие виды транспорта (или конкурирует с ними), причем, как в экономическом, так и в плане эмиссии вредных веществ. И, определяя цели развития в части снижения воздействия на окружающую среду и климат для этого подсектора гражданской авиации, также необходимо пользоваться экономическим, а не бухгалтерским подходом.

Например, даже если воздушный транспорт генерирует значительный, по меркам некоторых наземных видов транспорта (особенно железнодорожного), объем выбросов вредных веществ, следует сопоставлять его с альтернативами – каким был бы этот объем, если бы подвижность населения в стране или в регионе, транспортная доступность территории обеспечивались не авиационными, а иными средствами. Это становится актуальным, если новые природоохранные стандарты ИКАО заставят развивающиеся страны «пересесть» с авиационного на наземный транспорт (поскольку резервы сокращения удельной эмиссии почти исчерпаны).

При этом для других видов транспорта также необходима корректная, комплексная оценка эффектов воздействия на окружающую среду и климат, с учетом всех стадий жизненного и энергетического циклов, всех

необходимых элементов инфраструктуры и т.п. Для многих регионов и даже стран характерны сложный рельеф (гористый, с многочисленными водоемами и т.п.), сложные условия для строительства и поддержания наземной путевой инфраструктуры – например, болотистая почва, вечная мерзлота, большое количество осадков, в т.ч. снега, обледенение и т.п. Это повышает не только экономическую цену строительства и содержания наземных путей, но и их энергоемкость, воздействие на окружающую среду. Т.е. при строительстве автомобильных и железных дорог в таких условиях, а также при их текущем содержании, придется затратить в несколько раз больше энергии и сделать в несколько раз больше вредных выбросов (причем, разнообразных – от противогололедных реагентов до взрывчатых веществ при строительстве), чем в более благоприятных условиях.

Заметим, что для большей части территории России указанные факторы актуальны. Если же они сочетаются с малой плотностью населения (что и характерно для российских отдаленных, труднодоступных и малонаселенных регионах), низкой интенсивностью грузо- и пассажиропотоков, на единицу транспортной работы приходится на несколько порядков больше вредных выбросов, чем в более благополучных, в климато-географическом отношении, и густонаселенных регионах мира. Таким образом, оценки степени воздействия на окружающую среду и климат со стороны, например, железнодорожного транспорта, полученные для стран Западной Европы, категорически неприменимы для российской Сибири и Дальнего Востока. Количественные оценки можно получить, адаптируя к объемам эмиссии вредных веществ вместо экономических показателей методологический подход, предложенный в работе [14].

Методологические принципы обоснования механизмов снижения эмиссии CO₂ международной гражданской авиации

Общие методологические принципы обоснования механизмов снижения эмиссии CO₂ международной гражданской авиации включают в себя:

- объективный и всесторонний учет влияния гражданской авиации (в т.ч. любых предлагаемых механизмов снижения эмиссии CO₂) на национальный и глобальный балансы эмиссии CO₂;
- технологическую реализуемость механизмов снижения эмиссии CO₂ в течение планового периода;
- доступность механизмов снижения эмиссии CO₂ для каждой страны;
- выбор оптимальных механизмов снижения эмиссии CO₂ для каждой страны с учетом ее специфики;
- универсальность методов расчетов и обоснования для любых предлагаемых механизмов снижения эмиссии CO₂ и стран, где их предполагается внедрять.

Любые предлагаемые механизмы снижения эмиссии CO₂ должны быть подвергнуты всесторонней объективной оценке их целесообразности, должны быть основаны на технологиях, достигших необходимого уровня готовности в плановые сроки, и должны быть доступны для всех стран, которые будут их внедрять (в части экономической доступности, доступности необходимой информации и технологий, и др.).

Из числа доступных механизмов следует выбирать оптимальные по достигаемому эффекту снижения эмиссии CO₂ при заданных ограничениях. При этом специфика различных стран может диктовать выбор разных механизмов снижения эмиссии CO₂. Но методы и методики расчета и обоснования целесообразности применения, готовности технологий, доступности должны быть одинаковыми для всех механизмов и стран. Это принципиально важно для отстаивания интересов Российской Федерации в международных организациях, прежде всего, в ИКАО. Причем, оппоненты России и развивающихся стран особо акцентируют внимание на объективности и беспристрастности своих позиций, на их научной обоснованности – хотя фактически, как показано здесь, они представляют собой пример крайне политизированной и тенденциозной научной деятельности.

Предлагаются следующие методологические принципы объективного учета аспектов развития гражданской авиации в области защиты окружающей среды:

1. Комплексный, всесторонний учет воздействия на окружающую среду и климат за все стадии жизненного цикла авиационной техники (включая разработку и производство, эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт, утилизацию).

2. Комплексный учет воздействия на окружающую среду и климат за все стадии энергетических циклов в сфере топливообеспечения (энергообеспечения) гражданской авиации.

3. Равный учет всех эффектов влияния гражданской авиации, в т.ч. процессов ее целевого применения и обеспечения ее деятельности, на общие объемы эмиссии CO₂ во всех взаимодействующих секторах.

4. Учет альтернативных объемов эмиссии CO₂ при обеспечении транспортной доступности территории всех стран различными видами транспорта, помимо воздушного (а также при выполнении иных задач и работ другими, неавиационными средствами).

Принципы (1) и (2) и сейчас практически не оспариваются, и даже декларируются официально всеми сторонами. Особое внимание следует уделить новым принципам (3) и (4). Они критически важны:

- для повышения научной обоснованности и корректности учета влияния гражданской авиации на национальный и глобальный балансы эмиссии CO₂;

- для эффективного использования возможностей развития гражданской авиации в целях сокращения глобального объема эмиссии CO₂.

Принцип (3), в частности, предполагает учет, в т.ч. и положительного вклада гражданской авиации в национальный и глобальный балансы эмиссии CO₂. Например, положительный вклад может достигаться за счет предотвращения пожарной авиацией выбросов в результате лесных пожаров и сохранения поглощающей способности лесов. При этом непосредственный положительный эффект достигается не в секторе гражданской авиации, а в секторе лесного хозяйства (что и вызывает возражения против данного принципа (3)).

В то же время аналогичный эффект поглощения CO₂ биомассой учитывается для устойчивого авиационного топлива (SAF), хотя и в этом случае положительный эффект достигается не в секторе гражданской авиации, а в сопряженных секторах сельского хозяйства и топливной промышленности. На учете этого эффекта, достигаемого также за пределами сектора гражданской авиации, и строится обоснование эффективности SAF для сокращения эмиссии парниковых газов. На этом основании учет эффектов в сопряженных секторах, взаимодействующих с гражданской авиацией, должен быть равным (как для сельского хозяйства и топливной промышленности, так и для лесного хозяйства и любого другого сектора, взаимодействующего с гражданской авиацией). В противном случае учет вклада гражданской авиации в баланс эмиссии CO₂ будет некорректным, противоречащим принципам научной объективности.

Принцип (4) предполагает для каждой страны оценку объемов эмиссии CO₂, которые были бы произведены, если бы транспортная доступность ее территории обеспечивалась на заданном целевом уровне не с помощью гражданской авиации, а другими, альтернативными видами транспорта. При этом также должны учитываться все аспекты воздействия на окружающую среду и климат при строительстве и эксплуатации соответствующих транспортных систем с учетом условий (природно-климатических и социально-экономических) данной страны. Т.е. и для всех альтернативных воздушному средств транспорта должны выполняться принципы (1) и (2). То же самое касается и других, нетранспортных сфер применения гражданской авиации, альтернативных средств выполнения различных авиационных работ и создаваемых при этом выбросов.

Объемы альтернативных выбросов следует сопоставлять с прогнозируемыми выбросами в секторе гражданской авиации «при прочих равных условиях», т.е. при обеспечении транспортной доступности территории страны на одинаковом целевом уровне (или при выполнении аналогичных объемов иных авиационных работ и услуг).

Если прогнозируемые выбросы в секторе гражданской авиации ниже альтернативных выбросов, следует признать их приемлемыми вне зависимости от их абсолютного уровня. В этом случае любые механизмы, подразабуждающие вытеснение или сдерживание развития гражданской авиации в данной стране, являются категорически неприемлемыми и неэффектив-

ными именно с точки зрения увеличения воздействия на окружающую среду и климат.

Реализация методологических принципов (1-4) позволяет объективно оценивать целесообразность различных механизмов снижения эмиссии CO₂, а также формировать наиболее эффективные такие механизмы для каждой страны и планового периода. Принципы (3) и (4) направлены, в том числе, на поиск резервов эффективного снижения эмиссии CO₂ в национальном и глобальном масштабе при помощи гражданской авиации и ее технологического развития.

Заключение

Традиционные цели развития авиации в области защиты окружающей среды – сокращение удельной эмиссии вредных веществ, удержание суммарной эмиссии на стабильном уровне – с одной стороны, уже практически недостижимы из-за исчерпания резервов совершенствования современных технологий, а с другой стороны – практически бесполезны с точки зрения снижения воздействия на окружающую среду. Следует искать не экстенсивные, а интенсивные пути сокращения эмиссии с помощью авиации, в т.ч. такие, при которых авиация станет нетто-донором разрешений на эмиссию в рамках CORSIA (как, например, при тушении лесных пожаров). Ограничительные меры, подавляющие (под предлогом защиты окружающей среды) рост авиационного сектора в развивающихся странах, могут быть вредными именно с точки зрения увеличения воздействия на окружающую среду и климат, поскольку в сложных природно-климатических условиях, а также при низкой плотности населения именно авиация становится наивыгоднейшим средством транспорта и выполнения многих видов работ не только с точки зрения экономики, но и сокращения эмиссии парниковых газов.

Литература

1. Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP) / ICAO. Available at: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Caep.aspx>.
2. Ассамблея – 38-я сессия. Исполнительный комитет. Пункт 17 повестки дня. Охрана окружающей среды. Нынешние и будущие тенденции в области авиационного шума и эмиссии.
3. Мировые приоритеты. ИКАО и партнеры по отрасли выбирают наилучшие варианты стабильного будущего воздушного транспорта // Журнал ИКАО. – 2009. – Т. 64. – № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.icao.int/publications/journalsreports/2009/6405_ru.pdf.
4. Forecast of Air Traffic's CO₂ and NO_x Emissions until 2030, Martin Schaefer, German Aerospace Center (DLR). Conference paper, Conference: 17th Air Transport Research Society (ATRS) World Conference, Bergamo.
5. Нижегородцев Р.М. Экономика инноваций. 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Русайнс, 2016. – 154 с.
6. Aviation emissions, impacts & mitigation: a primer: FAA's office of environment and energy, January 2015.

7. Fact&Figures / ATAG. Available at: <https://www.atag.org/facts-figures.html/>
8. Graver B., Zhang K., Rutherford D. CO₂ emissions from commercial aviation, 2018. WORKING PAPER 2019-16. The international council on clean transportation. Available at: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_CO2-commercial-aviation-2018_20190918.pdf.
9. Пегов С.А. Антропогенное воздействие на биосферу // Труды ИСА РАН. – 2009. – Т. 42. – С. 5-32.
10. Lee D.S., Fahey D., Fuglestedt J.S. Climate change and aviation // Reducing Aviation In-Sector CO₂ Emissions: ICAO online Stocktaking Preview. 28 april 2020. Montreal, ICAO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.icao.int/Meetings/Stocktaking2020/Documents/4%20-%20ICAO%20Stocktaking%20Preview%20-%20Aviation%20CO2%20impacts.pdf>.
11. Ключков В.В. Экономика: учебное пособие для вузов. Серия «Высшее образование. Бакалавриат». – М.: ИНФРА-М, 2012. – 684 с.
12. Ключков В.В., Игнатъева А.И. Эколого-экономические проблемы обновления мирового парка авиатехники // Экономика природопользования. – 2009. – № 2. – С. 23-40.
13. Ключков В.В., Ратнер С.В. Управление развитием «зеленых» технологий: экономические аспекты. 1 электрон. опт. диск (CD-R). – М.: ИПУ РАН, 2013. – 292 с. + [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ipu.ru/sites/default/files/page_file/GreenTech.pdf.
14. Klochkov V.V., Karpov A.E. The Prediction of Transport-Logistics Systems Based on Unmanned Aerial Vehicles Creation Efficiency. Eleventh International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD). Moscow, 2018. Pp. 1-5.

Поступила в редакцию

13.08.2020

Варюхина Екатерина Витальевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Национального исследовательского центра «Институт им. Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Россия.

Varyukhina Ekaterina V. – Candidate of Engineering Science, Senior Researcher, National research center «N.E. Zhukovsky Institute», Zhukovsky, Russia.

Ключков Владислав Валерьевич – доктор экономических наук, кандидат технических наук, заместитель генерального директора Национального исследовательского центра «Институт им. Н.Е. Жуковского», г. Жуковский; ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия.

Klochkov Vladislav V. – Doctor of Economic Science, Candidate of Engineering Science, National research center «N.E. Zhukovsky Institute», Deputy General Director, Zhukovsky; Institute of Control Science, RAS, Leading Researcher, Moscow, Russia.

Россия, 140180, г. Жуковский, ул. Жуковского, 1
1, Zhukovsky st., 140180, Zhukovsky, Russia
Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65
65, Profsoyuznaya str., Moscow, 117997, Russia
e-mail: e.varyukhna@yandex.ru
e-mail: vlad_klochkov@mail.ru