

# Экологичность как фактор конкурентоспособности в гражданском авиастроении

**Горовой Евгений Владимирович,**  
аспирант Всероссийской академии внешней торговли Министерства  
экономического развития РФ.  
E-mail: Evgeniy.vavt@yandex.ru

В рамках данной статьи анализируются экологическое регулирование авиации в Европейском союзе и на уровне Организации Объединённых Наций, направленное на сокращение выбросов CO<sub>2</sub>, а также действия компаний гражданского авиастроения, способствующие повышению экологичности авиатранспорта. Сделан вывод о растущем влиянии экологического фактора на конкурентоспособность предприятий гражданского авиастроения.

**Цитирование:** Горовой Е.В. Экологичность как фактор конкурентоспособности в гражданском авиастроении // Проблемы национальной стратегии. 2022. № 3 (72). С. 229–247.

## Ключевые слова

авиация

авиастроение

экологичность

конкурентоспособность

SAF

# Environmental Friendliness as a Factor Dealing with Competitiveness of Civilian Aircraft Industry

**Gorovoy Evgeny Vladimirovich,**

Post-graduate student at the Russian Foreign Trade Academy under the Ministry of Economic Development of the Russian Federation.

E-mail: Evgeniy.vavt@yandex.ru

The article analyses environmental regulation of aviation in the European Union and on the United Nations level as well. It deals with the issue of CO<sub>2</sub> emission reduction and with efforts by civilian aircraft companies aimed at improving ecological standards for the air transport. The author comes to conclusion that the factor of environmental concerns has recently increased its pressure on competitiveness of civilian aircraft enterprises.

**Citation:** Gorovoy E.V. Environmental Friendliness as a Factor Dealing with Competitiveness of Civilian Aircraft Industry // National Strategy Issues. 2022. No. 3 (72). P. 229–247.

## Keywords

aviation

aircraft industry

environmental friendliness

competitiveness

SAF

По данным Международной ассоциации воздушного транспорта (International Air Transport Association, IATA), на коммерческую авиацию приходится 2–3 % мировых выбросов парниковых газов<sup>1</sup>. В США и ЕС, в силу высокой интенсивности авиасообщения, доля коммерческой авиации в выбросах парниковых газов больше среднемирового уровня и составляет, по информации Агентства по охране окружающей среды США<sup>2</sup> и Европейской комиссии<sup>3</sup>, порядка 3–4 %.

Несмотря на то что коммерческая авиация не является лидером по уровню выбросов парниковых газов, международное сообщество во главе с наиболее развитыми странами намерено повысить её экологичность, исходя из того, что растущий объём авиаперевозок в предстоящие десятилетия значительно увеличит вред коммерческой авиации для окружающей среды. Уже к 2050 г., по оценкам Международной организации гражданской авиации (ИКАО; International Civil Aviation Organization, ICAO), объём выбросов CO<sub>2</sub> в авиации может вырасти почти вчетверо по сравнению с уровнем 2015 г.<sup>4</sup>

### **Экологическое регулирование выбросов CO<sub>2</sub> в авиации**

Европейский союз может быть признан лидером и первопроходцем в области экологической устойчивости в гражданской авиации. С 2012 г. на внутренние авиарейсы между странами ЕС, Исландии, Лихтенштейна и Норвегии распространяется действие Системы торговли квотами на выбросы парниковых газов (Emissions Trading System, ETS)<sup>5</sup>. Благодаря системе ETS, которая устанавливает для компаний предельный объём выбросов углекислого газа, был создан рынок торговли квотами: компании, чьи выбросы превышают пороговое значение, могут купить дополнительные квоты у тех компаний,

<sup>1</sup> Working Towards Ambitious Targets // IATA. URL: <https://web.archive.org/web/20210302185725/https://www.iata.org/en/programs/environment/climate-change/> (дата обращения: 09.03.2021).

<sup>2</sup> Regulations for Greenhouse Gas Emissions from Aircraft // United States Environmental Protection Agency – EPA. URL: <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/regulations-greenhouse-gas-emissions-aircraft> (дата обращения: 31.10.2021).

<sup>3</sup> EU Emissions Trading System (EU ETS) // European Commission. Official website. URL: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en) (дата обращения: 31.10.2021).

<sup>4</sup> Trends in Emissions that affect Climate Change // ICAO. URL: [https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ClimateChange\\_Trends.aspx](https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ClimateChange_Trends.aspx) (дата обращения: 31.10.2021).

<sup>5</sup> EU Emissions Trading System (EU ETS).

которые достигли сокращения эмиссии CO<sub>2</sub> и продают освободившиеся квоты на рынке.

Изначально (в 2008 г.) планировалось, что ETS будет распространяться на все рейсы, прибывающие в Евросоюз или отправляющиеся из него. С точки зрения Европейского суда, такое трансграничное регулирование признавалось правомерным. Тем не менее было принято решение ограничить сферу применения ETS до 2016 г. внутри-европейскими рейсами с одновременным усилением лоббирования глобального экологического регулирования гражданской авиации на уровне Международной организации гражданской авиации – одного из специализированных учреждений ООН. Такое решение продиктовано экономическими соображениями, так как дополнительные экологические расходы европейских авиакомпаний в условиях, когда в других странах отсутствует аналогичное регулирование, снизили бы конкурентоспособность европейской гражданской авиации.

В 2016 г., как и планировал Евросоюз, ИКАО приняла Резолюцию 17/1 о Системе компенсации и сокращения выбросов углерода для международной авиации (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA). Однако, судя по сопроводительному письму представителя России при Совете ИКАО<sup>6</sup>, принятие резолюции по CORSIA происходило в большой спешке, вследствие чего были проигнорированы замечания стран – членов ИКАО, в том числе России.

Цель программы CORSIA – удерживать объёмы выбросов CO<sub>2</sub> в авиации на уровне 2019 г. Её требования распространяются на рейсы между двумя присоединившимися к программе государствами. На данный момент участие в CORSIA добровольное, но с 2027 г. оно станет обязательным для всех членов ИКАО. При этом наименее развитые государства, а также страны, доля которых в мировом авиасообщении, измеряемом в тонно-километрах, в 2018 г. была менее 0,5 %, освобождены от нормативов CORSIA.

Таким образом, в ближайшем будущем на глобальном уровне, вероятно, будут приняты правила, ограничивающие выбросы CO<sub>2</sub> в авиации. Авиакомпании приветствуют экологические инициативы, однако эмиссия CO<sub>2</sub> определяется преимущественно техническими характеристиками самолётов. В связи с этим возникает вопрос: каким образом зелёная повестка повлияет на производителей воздушных судов, т.е. на гражданское авиастроение?

<sup>6</sup> Russian Representative's Cover Letter to the Statement on the Reservations of the Russian Federation concerning Resolutions 16/1 and 17/1 // ICAO. URL: [https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/Resolutions/russia\\_EN.pdf](https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/Resolutions/russia_EN.pdf) (дата обращения: 03.01.2022).

Выбросы CO<sub>2</sub> в гражданской авиации происходят из-за сжигания топлива в авиационных двигателях. Соответственно, решение экологической проблемы, которое может предложить авиастроение со смежными отраслями, – снижение расхода топлива или замена традиционного топлива на альтернативное, характеризующееся меньшим выделением углекислого газа при сжигании (рис. 1). Более экологичное авиационное топливо уже разработано и широко известно под названием Sustainable Aviation Fuel (SAF). Спецификации SAF закреплены в стандарте ASTM D7566-21 Американского общества по испытаниям и материалам (American Society for Testing and Materials, ASTM)<sup>7</sup>. Существуют планы по переводу гражданской авиационной техники на неуглеродные источники энергии, например на водород и электрическую энергию.

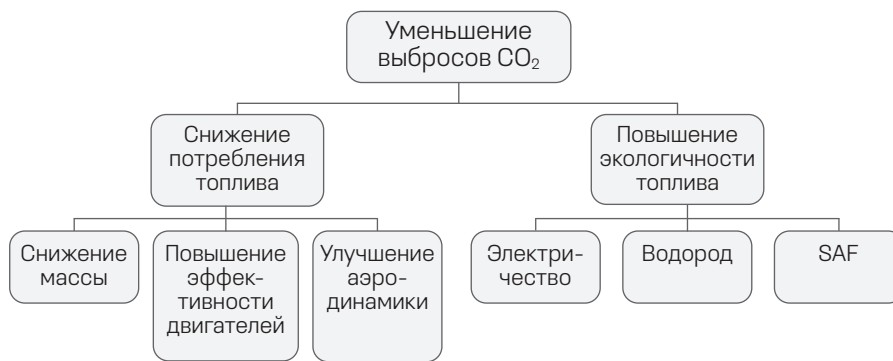


Рис. 1. Способы сокращения выбросов CO<sub>2</sub> гражданскими самолётами

Источник: составлено автором

## Способы снижения потребления топлива в авиации

Сокращение потребления топлива может быть достигнуто несколькими способами: путём уменьшения массы самолёта, посредством повышения эффективности авиационных двигателей или улучшения аэродинамики планера.

Уменьшение массы самолёта достигается с помощью использования композитных материалов в производстве фюзеляжа, крыльев и прочих его частей, а также за счёт облегчения других компонентов воздушного судна, в том числе двигателей, электроники и иных систем. Перспективной технологией здесь представляется применение

<sup>7</sup> Standard Specification For Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons // ASTM International. 2021. July, 15. URL: <https://www.astm.org/d7566-21.html> (дата обращения: 03.01.2022).

методов аддитивного производства (3D-печати). Они позволяют добиться значительного снижения массы деталей и улучшения эксплуатационных характеристик.

Например, самый современный и мощный на данный момент двигатель для гражданских самолётов GE9X (его мощность превосходит мощность первой американской ракеты, выведшей человека в космос<sup>8</sup>) американской компании General Electric производится с использованием технологии 3D-печати. Лопатки вентилятора изготавливаются из композитного материала с керамической матрицей (Ceramic Matrix Composite, CMC) на 3D-принтере<sup>9</sup>. Благодаря новой технологии и материалу уменьшается вес лопаток и повышаются предельные температуры эксплуатации (лопатки могут выносить температуру до 1315 °C). Кроме того, технология 3D-печати позволила изготовить цельную форсунку, подающую топливо в камеру сгорания, оптимальной формы. Ранее она собиралась из 20 отдельных элементов<sup>10</sup>. В общей сложности свыше 300 компонентов двигателя GE9X производятся с помощью технологии 3D-печати<sup>11</sup>. Снижение массы двигателя означает сокращение нагрузки на соответствующие элементы самолёта, что позволяет уменьшить их запас прочности и сделать более лёгкими.

*Повышение эффективности двигателей.* Улучшения в двигателях вносят наибольший вклад в увеличение топливной эффективности самолётов. В 2012 г. генеральный директор Airbus Том Эндерс сообщил, что за предшествующие десять лет объём авиаперевозок вырос на 45 %, а потребление авиатоплива – на 3 %<sup>12</sup>. Это свидетельствует о значительных успехах авиастроения в повышении экономичности.

<sup>8</sup> Kellner T. GE Invests \$4.3 Billion To Build Next-Gen Jet Engines, Open New Factories In The US // General Electric. 2017. February, 15. URL: <https://www.ge.com/news/reports/ge-invests-4-3-billion-build-next-gen-jet-engines-open-new-factories-us> (дата обращения: 28.02.2021).

<sup>9</sup> Hall N. GE builds the worlds's largest jet engine with 3D printing // 3D Printing Industry. 2016. April, 25. URL: <https://3dprintingindustry.com/news/ge-builds-worlds-largest-jet-engine-3d-printing-77183/> (дата обращения: 28.02.2021).

<sup>10</sup> Ibid.

<sup>11</sup> Essop A. Boeing 777X: GE9X Engines With 300 3D Printed Parts Powers Largest Twin-Engine Jetliner In First Flight // 3D Printing Industry. 2020. January, 28. URL: <https://3dprintingindustry.com/news/boeing-77x-ge9x-engines-with-300-3d-printed-parts-powers-largest-twin-engine-jetliner-in-first-flight-167793/> (дата обращения: 28.02.2021).

<sup>12</sup> Airbus, Boeing, Embraer collaborate on Aviation Biofuel Commercialisation // Airbus. 2012. March, 22. URL: <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2012/03/airbus-boeing-embraer-collaborate-on-aviation-biofuel-commercialisation.html> (дата обращения: 06.03.2021).

В компании Boeing более 85 % снижения расхода топлива на самолётах Boeing 737 MAX было достигнуто благодаря новым двигателям<sup>13</sup>.

Эффективность двигателей поднимается не только за счёт их облегчения, но и, например, путём увеличения размера вентилятора, что позволяет нагнетать больше воздуха в компрессор, тем самым повышая тягу. Именно поэтому GE9X является не только самым мощным двигателем для гражданских самолётов, но и самым крупным: его диаметр составляет рекордные 3,35 м (для сравнения: диаметр фюзеляжа самолёта Boeing 737 равен 3,76 м).

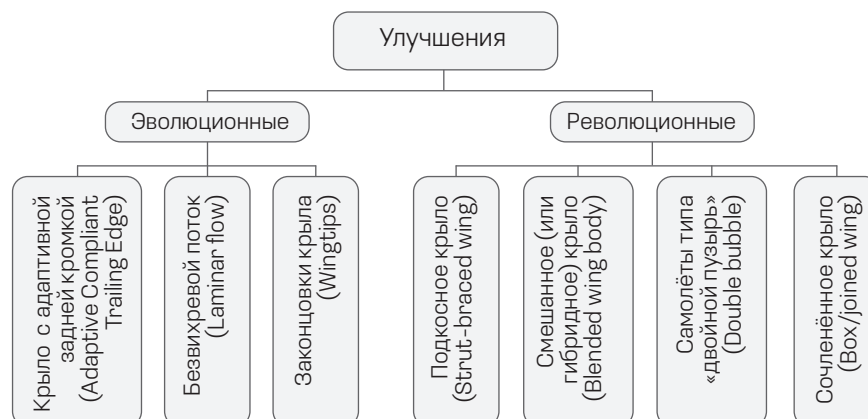
*Изменение конструкции самолёта.* Улучшение аэродинамики позволяет снизить воздушное сопротивление самолёта, в результате чего сокращается потребление топлива. Усовершенствования в конструкции гражданских самолётов можно разделить на эволюционные и революционные в зависимости от сложности их воплощения в серийной продукции (рис. 2). Исследование NASA<sup>14</sup> в рамках программы «Экологически ответственная авиация» (Environmentally Responsible Aviation) показало, что внедрение эволюционных улучшений позволит снизить потребление топлива на 40 % по сравнению с лучшими показателями по расходу топлива у гражданских самолётов по состоянию на 2005 г. Внесение кардинальных улучшений в конструкцию самолёта на первом этапе позволит дополнительно сократить потребление топлива всего на 5 %. Однако кардинальные инновации имеют потенциал для дальнейшего повышения экологичности, в то время как потенциал эволюционных изменений ограничен.

Первые два улучшения (адаптивная задняя кромка крыла и достижение безвихревого потока, в том числе за счёт изготовления сверхгладких аэродинамических поверхностей) позволят снизить потребление топлива до 10–15 % каждое. Исследования адаптивного крыла проводятся NASA совместно с научно-исследовательской лабораторией ВВС США и компанией FlexSys с 1998 г.<sup>15</sup>

<sup>13</sup> The world's three biggest engine-makers hit a snag // The Economist. 2018. March, 22. URL: <https://www.economist.com/business/2018/03/22/the-worlds-three-biggest-engine-makers-hit-a-snag> (дата обращения: 23.02.2021).

<sup>14</sup> Aircraft Technology Roadmap to 2050 / IATA. Geneva, 2020. P. 20. URL: <https://web.archive.org/web/20220201224212/https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology20roadmap20to20205020no20foreword.pdf> (дата обращения: 09.03.2021).

<sup>15</sup> Harrington J.D., Williams L. NASA Successfully Tests Shape-Changing Wing for Next Generation Aviation // NASA. 2015. April, 28. URL: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-successfully-tests-shape-changing-wing-for-next-generation-aviation> (дата обращения: 14.03.2021).



**Рис. 2.** Способы улучшения аэродинамики гражданских самолётов

Источник: составлено автором

Исследования возможных способов достижения безвихревого потока активно ведутся в США, где данным вопросом уже более 15 лет занимаются NASA и разработчик сверхзвукового бизнесджета Aerion при финансовом (и, возможно, научно-техническом) участии Boeing<sup>16</sup>. В Европе исследования проводят Airbus<sup>17</sup>, Fokker Technologies, Королевский аэрокосмический центр Нидерландов и европейские институты при финансовой поддержке Европейского союза<sup>18</sup>.

Концепция законцовок крыла для снижения сопротивления появилась в конце XIX – начале XX в., но активно использоваться в гражданской авиации они стали после скачка в 1974 г. нефтяных цен с 3 до 12 долл. за баррель. В этих условиях снижение расхода авиатоплива, составлявшего примерно 40–50 % операционных затрат на рейс, оказалось актуальным как никогда раньше. В 1970-е гг. исследования законцовок крыла проводились в NASA, Boeing, Learjet Corporation и Gulfstream. Первым серийным среднемагистральным пассажирским самолётом с законцовками крыла стал Boeing 737-800.

<sup>16</sup> Trautvetter Ch. Boeing Partners with Aerion, Bets Big on Supersonics // AIN Online. 2019. February, 5. URL: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2019-02-05/boeing-partners-aerion-bets-big-supersonics> (дата обращения: 14.03.2021).

<sup>17</sup> Breakthrough Laminar Aircraft Model wind tunnel testing in Europe // European Commission. Official website. URL: <https://trimis.ec.europa.eu/project/breakthrough-laminar-aircraft-model-wind-tunnel-testing-europe> (дата обращения: 14.03.2021).

<sup>18</sup> Natural laminar flow for fuel-efficient airplanes // European Commission. Official website. URL: <https://cordis.europa.eu/article/id/394834-natural-laminar-flow-for-fueleficient-airplanes>; Cummins N. What Happened To Airbus' BLADE Laminar Flow Test A340? // Simple Flying. 2020. June, 26. URL: <https://simpleflying.com/airbus-blade-test-a340/> (дата обращения: 14.03.2021).



Благодаря законцовкам крыла потребление топлива можно снизить на 5–7 %<sup>19</sup>. В будущем на самолёты могут устанавливаться спиральные законцовки, которые способны снизить потребление топлива, по разным оценкам, до 10 %<sup>20</sup>.

Испытания спиральных законцовок проводились ещё в 1992 г., однако их внедрение в серийное производство проходит медленно. С технической точки зрения революционные улучшения могут быть введены уже в 2035 г.<sup>21</sup>, однако может потребоваться гораздо больше времени, чтобы они стали экономически целесообразны. Самыми проработанными из них являются подкосное крыло (Strut-braced wing) и смешанное, или гибридное, крыло (Blended wing body).

Подкосное крыло, разработка которого ведётся Boeing совместно с NASA<sup>22</sup>, легче и тоньше традиционного благодаря увеличенной длине. За счёт улучшенных аэродинамических характеристик самолёты с подкосным крылом можно будет оснащать облегчёнными двигателями. Благодаря этому такие самолёты будут более экономичными (снижение расхода топлива до 50 %<sup>23</sup>) и высокоскоростными. Над пассажирским самолётом с подкосным крылом совместно трудятся NASA и Boeing<sup>24</sup> в рамках исследования дозвукового ультраэкологичного самолёта<sup>25</sup>.

Разработки самолётов со смешанным крылом ведутся в NASA с начала 1990-х гг. вместе с McDonnell Douglas, а затем с Boeing. В 2013 г. компания Boeing получила патент на самолёт со смешанным крылом, который предполагалось использовать в качестве военно-транспортного самолёта (проект финансировался ВВС США)<sup>26</sup>.

<sup>19</sup> Tegner E. What's in a Winglet?: Inside the Epic Quest To Build a Better Airplane Wing // Popular Mechanics. 2020. July, 5. URL: <https://www.popularmechanics.com/flight/airlines/a32972180/winglet-history/> (дата обращения: 09.03.2021).

<sup>20</sup> Technology Roadmap to 2050. P. 17; Winglets Save Billions of Dollars in Fuel Costs // NASA Technology Transfer Program. 2010. URL: [https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2010/t\\_5.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2010/t_5.html) (дата обращения: 09.03.2021).

<sup>21</sup> Technology Roadmap to 2050. P. 21.

<sup>22</sup> Spreading our wings: Boeing unveils new Transonic Truss-Braced Wing // Boeing. 2019. January, 8. URL: <http://www.boeing.com/features/2019/01/spreading-our-wings-01-19.page?sf205320177=1> (дата обращения: 26.02.2021).

<sup>23</sup> Szondy D. Super-thin wing design cuts fuel costs in half // New Atlas. 2016. April, 8. URL: <https://newatlas.com/nasa-truss-braced-wing/42701/> (дата обращения: 26.02.2021).

<sup>24</sup> Hemmerdinger J. NASA hints at truss-braced X-plane to test technologies for next commercial narrowbody // FlightGlobal. 2020. June, 17. URL: <https://www.flightglobal.com/airframers/nasa-hints-at-truss-braced-x-plane-to-test-technologies-for-next-commercial-narrowbody/138861.article> (дата обращения: 13.03.2021).

<sup>25</sup> Subsonic Ultra Green Aircraft Research (SUGAR).

<sup>26</sup> Larrimer B.I. Beyond Tube-and-Wing: The X-48 Blended Wing-Body and NASA's Quest to Reshape Future Transport Aircraft // NASA Aeronautics Book Series. 2020. P. 73.

Такая конструкция за счёт широкого фюзеляжа, во-первых, обеспечивает создание дополнительной подъёмной силы (что способствует повышению экономичности), а во-вторых, предоставляет больше пространства для размещения пассажиров или полезного груза на борту. Сейчас продолжаются испытания макетов самолёта со смешанным крылом X-48C, сконструированного совместно Boeing и NASA, а также самолётов со смешанным крылом военного и гражданского назначения Lockheed Martin, в финансировании которых участвуют ВВС США и NASA соответственно<sup>27</sup>.

*Электричество.* В настоящее время электродвигатели достигли уровня, при котором их целесообразно использовать в автомобилях. Можно предположить, что в обозримом будущем на рынке появятся электросамолёты малой авиации. Однако существующих технологий (прежде всего в области хранения электроэнергии в батареях) недостаточно для обеспечения необходимого количества энергии для пассажирских и грузовых узкофюзеляжных, а тем более широкофюзеляжных самолётов. Различные исследовательские проекты в этой области продолжаются, в том числе FutPrInt50 и IMOTHEP, финансируемые ЕС<sup>28</sup>. Однако отмена совместного проекта Rolls-Royce, Siemens и Airbus по разработке самолёта – демонстратора гибридных электрических двигателей E-Fan X с высокой долей вероятности свидетельствует о том, что до перехода коммерческой авиации на использование электричества в качестве источника энергии ещё очень далеко.

*Водород.* В долгосрочной перспективе авиационные двигатели могут перейти с керосина на водород, что станет революцией в авиационной с точки зрения уровня вредных выбросов. По мнению профессора Перикла Пилидиса<sup>29</sup>, возглавляющего один из департаментов в центре разработки двигателей Университета Крэнфилд, переход на водород в авиационном двигателестроении неизбежен. Его слова находят подтверждение в стратегических решениях Airbus, который намерен разработать пассажирский самолёт на водородном

URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/beyond\\_tube-and-wing\\_tagged.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/beyond_tube-and-wing_tagged.pdf) (дата обращения: 13.03.2021).

<sup>27</sup> Larrimer B.I. Op. cit. P. 202.

<sup>28</sup> FutPrInt50 // EASA. URL: <https://www.easa.europa.eu/research-projects/futprint50> (дата обращения: 20.09.2021); Investigation and Maturation of Technologies for Hybrid Electric Propulsion // IMOTHEP. URL: <https://www.imothep-project.eu> (дата обращения: 31.10.2021).

<sup>29</sup> Morris B. Giant jet engines aim to make our flying greener // BBC. 2020. January, 17. URL: <https://www.bbc.com/news/business-50850242> (дата обращения: 22.02.2021).

топливе до 2035 г.<sup>30</sup> По мнению генерального директора Airbus, для использования водорода в качестве авиационного топлива требуется создать топливозаправочную инфраструктуру, а также соответствующую регулятивную базу. Американская компания Universal Hydrogen, предлагающая заправлять самолёты капсулами с водородом, уже собрала консультативную группу, состоящую из бывших руководителей Airbus и Федерального управления гражданской авиации США, которая, скорее всего, будет заниматься координацией работ Airbus и Universal Hydrogen по разработке самолёта на водороде<sup>31</sup>. Стоит отметить, что генеральный директор Boeing Дэвид Кэлхун считает, что 2050 г. – это более реалистичный срок для воплощения такого сложного проекта, как полноценный пассажирский самолёт на водородном топливе<sup>32</sup>.

*Экологичное авиационное топливо (SAF)*. Полный переход на авиатопливо, произведённое не из нефти, – это ключевое звено в стратегии авиационной отрасли по снижению выбросов углекислого газа на 50 % к 2050 г. (относительно уровня 2005 г.). По прогнозам ИКАО, к 2050 г. спрос на авиатопливо для международного авиасообщения может увеличиться в 4 раза, поэтому переход на SAF, который, по расчётам IATA, может снизить выбросы углекислого газа на 80 %<sup>33</sup>, является важным шагом на пути к декарбонизации отрасли.

С точки зрения влияния на гражданское авиационное строительство тема SAF крайне важна по той причине, что требования о его обязательном применении, по всей видимости, будут вводиться как в европейских странах на уровне Европейского союза, так и в США. В связи с этим готовность производителей самолётов, и в первую очередь производителей двигателей, к переходу на SAF без снижения ресурса и эффективности двигателей будет важным фактором конкурентоспособности.

<sup>30</sup> Woodrow Bellamy III. Airbus CEO Keeps Commitment to 2035 Zero Emissions Airliner Timeline // Aviation Today. 2021. February, 19. URL: <https://www.aviationtoday.com/2021/02/19/airbus-ceo-keeps-commitment-2035-zero-emissions-airliner-timeline/> (дата обращения: 22.02.2021).

<sup>31</sup> Hemmerdinger J. Universal Hydrogen lands former Airbus chief as advisor, secures funding // Aviation Today. 2021. February, 18. URL: <https://www.flightglobal.com/airframers/universal-hydrogen-lands-former-airbus-chief-as-advisor-secures-funding/142493.article> (дата обращения: 22.02.2021).

<sup>32</sup> Hopher T., Frost L. Airbus tells EU hydrogen won't be widely used in planes before 2050 // Reuters. 2021. June, 10. URL: <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/airbus-tells-eu-hydrogen-wont-be-widely-used-planes-before-2050-2021-06-10/> (дата обращения: 04.12.2021).

<sup>33</sup> Boeing setzt auf Biosprit // DW. 2021. 23. Januar. URL: <https://www.dw.com/de/biokraftstoffe-boeing-flugzeuge-co2/a-56321398> (дата обращения: 27.03.2021).

На данный момент традиционное авиатопливо разрешено смешивать с биотопливом, которое получают из использованного растительного масла, животных жиров, сахарного тростника, максимум в равных долях<sup>34</sup>, поэтому для полного перехода на SAF необходимо одобрение производителей авиадвигателей и разрешение авиационных властей.

Для авиастроения тема SAF не является абсолютно новой: в 2008 г. Boeing и Virgin Atlantic совершили первый тестовый полёт на смеси традиционного авиационного керосина и биотоплива<sup>35</sup>. В 2011 г. SAF было разрешено применять в коммерческих целях. В 2012 г. Boeing, Airbus и Embraer подписали меморандум о взаимопонимании, направленный на совместные действия по повышению доступности SAF. Уже существуют примеры успешного использования 100%-ного SAF на коммерческих рейсах. В 2018 г. на биотопливе совершил полёт авиалайнер Boeing 777 компании FedEx. В 2019 г. Boeing стал предлагать эксплуатантам, принимающим самолёты на производственных площадках в Сиэтле и Эверетте, возможность заправки SAF. К 2030 г. Boeing планирует создать пассажирский самолёт, работающий полностью на SAF<sup>36</sup>.

Airbus также продвигается в данном направлении. В марте 2021 г. компания начала испытания самолёта A350-900, заправленного 100%-ным SAF<sup>37</sup>. В проекте также участвуют производитель турбореактивных двигателей Rolls-Royce, производитель биотоплива Neste и Немецкий аэрокосмический центр. Испытания проводятся с целью сертификации заправки пассажирских самолётов 100%-ным SAF.

Преимуществом SAF по сравнению с водородным топливом является возможность его использования без кардинальных изменений в самолётах, двигателях или заправочной инфраструктуре. К недостаткам SAF относится как минимум в 2 раза более высокая цена в сопоставлении с обычным авиационным керосином<sup>38</sup>.

<sup>34</sup> Boeing says it will make planes able to fly on 100 % biofuel by 2030 // The Guardian. 2021. January, 23. URL: <https://www.theguardian.com/us-news/2021/jan/23/boeing-says-it-will-make-planes-able-to-fly-on-100-biofuel-by-2030> (дата обращения: 06.03.2021).

<sup>35</sup> Boeing to Offer Biofuel for Airlines to Fly New Airplanes Home // Boeing. 2019. March, 8. URL: <https://boeing.mediaroom.com/news-releases-statements?item=130399> (дата обращения: 06.03.2021).

<sup>36</sup> Boeing setzt auf Biosprit.

<sup>37</sup> Singh S. Airbus Wants To Run An A350 Only Using Biofuels // Simple Flying. 2021. March, 18. URL: <https://simpleflying.com/airbus-a350-biofuels/> (дата обращения: 27.03.2021).

<sup>38</sup> Aviation and Fuel Sectors Respond Favourably to Major EU Policy Initiative to Boost Sustainable Aviation Fuels // Green Air. 2020. April, 30. URL: <https://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=2688> (дата обращения: 20.03.2021).

По заключению Argus<sup>39</sup>, на 23 сентября 2020 г. цена авиационного биотоплива HEFA-SPK, произведённого на основе отработанного растительного масла, составила 2121,47 долл. за тонну, что дороже обычного авиатоплива на 1804,22 долл. за тонну (т.е. почти в 7 раз). Соответственно, без введения регуляторных мер, направленных на принудительное использование авиакомпаниями некоторого количества биотоплива, а также без предоставления субсидий авиакомпаниям, производителям авиатоплива и операторам топливозаправочных комплексов прогресс в переходе на биотопливо будет медленным.

В 2020 г. некоторые европейские страны (Норвегия, Швеция, Нидерланды, Франция<sup>40</sup>), не дожидаясь мандата Еврокомиссии, внедрили требование об обязательной доле SAF в авиационном топливе. В 2021 г. Еврокомиссия опубликовала инициативу ReFuelEU Aviation, нацеленную на замещение традиционного авиатоплива экологически чистым<sup>41</sup>.

Рассматривается применение следующих стимулирующих мер<sup>42</sup>:

- 1) введение минимальной доли SAF в совокупных продажах авиатоплива поставщиками;
- 2) требование к авиакомпаниям о минимальной доле SAF в совокупном потреблении авиатоплива;
- 3) субсидирование производства SAF в ЕС;
- 4) приоритетное направление сырья (биомассы) для производства SAF;
- 5) создание аукционного механизма;
- 6) формирование консультационного органа, способствующего заключению договоров на поставку SAF;
- 7) повышение коэффициента для расчёта доли SAF как одного из видов биотоплива в совокупном производстве топлива в Евросоюзе<sup>43</sup>.

<sup>39</sup> *Squadrin C., Varin C.* Total eyes first biojet output from Grandpuits in 2024 // Argus. 2020. September, 24. URL: <https://www.argusmedia.com/en/news/2144297-total-eyes-first-biojet-output-from-grandpuits-in-2024> (дата обращения: 08.04.2021).

<sup>40</sup> «In Europe a target SAF share of 10 % of all aviation fuel demand by 2030 is feasible» // Eurocontrol. 2021. February, 18. URL: <https://www.eurocontrol.int/interview/europe-target-saf-share-10-all-aviation-fuel-demand-2030-feasible> (дата обращения: 08.04.2021).

<sup>41</sup> Sustainable aviation fuels – ReFuelEU Aviation // European Commission. Official website. 2020. URL: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12303-ReFuelEU-Aviation-Sustainable-Aviation-Fuels> (дата обращения: 08.04.2021).

<sup>42</sup> Sustainable aviation fuels – ReFuelEU Aviation. P. 3.

<sup>43</sup> Требование по суммарной доле биотоплива в совокупном производстве топлива введено ст. 25, 27 Директивы ЕС от 11.12.2018 № 2018/2001 «О продвижении использования энергии из возобновляемых источников».

Еврокомиссия пока не пришла к окончательному решению о наборе и параметрах стимулирующих мер, однако действия участников рынка косвенно свидетельствуют о высокой вероятности поддержки производства SAF и установления квот на его долю в производстве и продажах авиатоплива (меры 1–3).

В случае принятия инициативы ReFuelEU Aviation законодательной ветвью власти ЕС доля SAF увеличится менее чем с 1 % на данный момент до 2 % в 2025 г. с поэтапным увеличением до 63 % в 2050 г.

\*   \*  
\*

Международное экологическое регулирование создаёт дополнительный стимул для авиапроизводителей и смежных отраслей разрабатывать более экономичные самолёты. Задача повышения экономии топлива в авиации решается с помощью использования передовых материалов и технологий производства. Главную роль в сокращении расходов топлива до сих пор играли производители авиадвигателей. Улучшение аэродинамики самолёта также может значительно повысить топливную экономичность. Проекты по усовершенствованию аэродинамики и двигателей реализуются предприятиями самолёто- и двигателестроения, а также научно-исследовательскими институтами при финансовой и научно-технической поддержке государства.

Необходимо подчеркнуть, что сокращение выбросов парниковых газов достигается не только за счёт усовершенствования самолётов, но и посредством перехода на новые виды топлива. Наиболее проработанной альтернативой традиционному авиационному топливу, производимому из нефти, является экологичное авиатопливо – SAF. Оно не требует серьёзных изменений в инфраструктуре аэропорта или системах воздушного судна. Несмотря на высокую стоимость SAF, его применение продвигают Евросоюз и ИКАО, что окажет существенное влияние на продуктовую структуру авиатоплива в ЕС, а также, возможно, во всём мире. Водород может стать самым экологичным авиационным топливом будущего. Однако для его использования требуются значительные изменения в авиационных двигателях и топливных системах самолётов, а также в инфраструктуре аэропортов. Электричество, активно применяемое в качестве источника энергии для снижения выбросов в автомобильном транспорте, пока не может стать альтернативным источником энергии для авиации, поскольку существующие технологии не позволяют обеспечить достаточное количество энергии для узко- и широкофюзеляжных самолётов коммерческой авиации.

Экологическая повестка в сфере авиации активно развивается на международном (ИКАО ООН), наднациональном (ЕС) и страновом уровнях. Есть все основания полагать, что в самом ближайшем будущем будут приняты нормативно-правовые документы ЕС и ИКАО, направленные на снижение выбросов CO<sub>2</sub> в международном авиасообщении и стимулирование использования SAF в качестве авиатоплива со сниженным углеродным следом. Это обстоятельство повысит значимость экологического фактора для авиакомпаний при выборе самолёта. Производители воздушных судов и двигателей, в свою очередь, будут бороться за лидерство в топливной экономичности и экологичности, которая с точки зрения использования SAF трансформируется в вопрос возможности устойчивой работы реактивного двигателя при его постоянной заправке авиатопливом с SAF. Несмотря на наличие примеров успешного выполнения рейсов даже на чистом SAF, производители двигателей продолжают испытания на предмет возможности постоянного использования авиатоплива с содержанием свыше 50 % SAF.

Внедрение SAF в авиацию на данный момент находится в начальной стадии, поэтому Boeing и Airbus имеют примерно равные позиции: самолёты обоих производителей разрешено заправлять топливной смесью с долей SAF не выше 50 %. Однако в отдалённом будущем Airbus ставит перед собой более амбициозные по сравнению с Boeing цели по разработке самолёта на водородном топливе, который может появиться уже в 2035 г. Производственные и финансовые проблемы Boeing, вызванные приостановкой полётов и, соответственно, поставок самолётов Boeing 737 MAX, создали для Airbus преимущество в осуществлении разработок, необходимых для перевода самолёта на водородное топливо. В связи с этим существуют предпосылки для лидерства самолётов Airbus в части экологичности в средне- и долгосрочной перспективе.

Для российского самолётостроения экологические инициативы в сфере авиации создают риск снижения конкурентоспособности выпускаемых самолётов как на внешнем, так и на внутреннем рынке. Российское гражданское двигателестроение пока что выступает в роли догоняющего, однако успехи последних лет, в частности сертификация отечественного двигателя ПД-14 для среднемагистральных самолётов, дают надежду на постепенную ликвидацию отставания. Вместе с тем на данный момент нет ни одного примера заправки гражданского самолёта, произведённого в России, экологичным авиатопливом. Более того, SAF, удовлетворяющее требованиям экологической устойчивости ЕС, в России не производится. Российское деловое сообщество осознаёт необходимость производства и внедрения

SAF в стране, о чём свидетельствует создание в декабре 2021 г. Евразийского SAF-альянса, в который вошли представители предприятий нефтеперерабатывающей и авиационной отраслей. Для минимизации отставания РФ по уровню экологичности гражданской авиации нужно активизировать усилия по производству и сертификации SAF, а также его испытанию в реактивных двигателях, устанавливаемых на гражданских самолётах отечественного производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Airbus, Boeing, Embraer collaborate on Aviation Biofuel Commercialisation // Airbus. 2012. March, 22. URL: <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2012/03/airbus-boeing-embraer-collaborate-on-aviation-biofuel-commercialisation.html> (дата обращения: 06.03.2021).
2. Aircraft Technology Roadmap to 2050 / IATA. Geneva, 2020. URL: <https://web.archive.org/web/20220201224212/https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology20roadmap20to20205020no20foreword.pdf> (дата обращения: 09.03.2021).
3. Aviation and Fuel Sectors Respond Favourably to Major EU Policy Initiative to Boost Sustainable Aviation Fuels // Green Air. 2020. April, 30. URL: <https://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=2688> (дата обращения: 20.03.2021).
4. Boeing says it will make planes able to fly on 100 % biofuel by 2030 // The Guardian. 2021. January, 23. URL: <https://www.theguardian.com/us-news/2021/jan/23/boeing-says-it-will-make-planes-able-to-fly-on-100-biofuel-by-2030> (дата обращения: 06.03.2021).
5. Boeing setzt auf Biosprit // DW. 2021. 23. Januar. URL: <https://www.dw.com/de/bio-kraftstoffe-boeing-flugzeuge-co2/a-56321398> (дата обращения: 27.03.2021).
6. Boeing to Offer Biofuel for Airlines to Fly New Airplanes Home // Boeing. 2019. March, 8. URL: <https://boeing.mediaroom.com/news-releases-statements?item=130399> (дата обращения: 06.03.2021).
7. Breakthrough Laminar Aircraft Model wind tunnel testing in Europe // European Commission. Official website. URL: <https://trimis.ec.europa.eu/project/breakthrough-laminar-aircraft-model-wind-tunnel-testing-europe> (дата обращения: 14.03.2021).
8. *Cummins N.* What Happened To Airbus' BLADE Laminar Flow Test A340? // Simple Flying. 2020. June, 26. URL: <https://simpleflying.com/airbus-blade-test-a340/> (дата обращения: 14.03.2021).
9. *Essop A.* Boeing 777X: GE9X Engines With 300 3D Printed Parts Powers Largest Twin-Engine Jetliner In First Flight // 3D Printing Industry. 2020. January, 28. URL: <https://3dprintingindustry.com/news/boeing-77x-ge9x-engines-with-300-3d-printed-parts-powers-largest-twin-engine-jetliner-in-first-flight-167793/> (дата обращения: 28.02.2021).



10. EU Emissions Trading System (EU ETS) // European Commission. Official website. URL: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en) (дата обращения: 31.10.2021).
11. FutPrInt50 // EASA. URL: <https://www.easa.europa.eu/research-projects/futprint50> (дата обращения: 20.09.2021).
12. Hall N. GE builds the worlds's largest jet engine with 3D printing // 3D Printing Industry. 2016. April, 25. URL: <https://3dprintingindustry.com/news/ge-builds-worlds-largest-jet-engine-3d-printing-77183/> (дата обращения: 28.02.2021).
13. Harrington J.D., Williams L. NASA Successfully Tests Shape-Changing Wing for Next Generation Aviation // NASA. 2015. April, 28. URL: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-successfully-tests-shape-changing-wing-for-next-generation-aviation> (дата обращения: 14.03.2021).
14. Hemmerdinger J. NASA hints at truss-braced X-plane to test technologies for next commercial narrowbody // FlightGlobal. 2020. June, 17. URL: <https://www.flightglobal.com/airframers/nasa-hints-at-truss-braced-x-plane-to-test-technologies-for-next-commercial-narrowbody/138861.article> (дата обращения: 13.03.2021).
15. Hemmerdinger J. Universal Hydrogen lands former Airbus chief as advisor, secures funding // Aviation Today. 2021. February, 18. URL: <https://www.flightglobal.com/airframers/universal-hydrogen-lands-former-airbus-chief-as-advisor-secures-funding/142493.article> (дата обращения: 22.02.2021).
16. Nopher T., Frost L. Airbus tells EU hydrogen won't be widely used in planes before 2050 // Reuters. 2021. June, 10. URL: <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/airbus-tells-eu-hydrogen-wont-be-widely-used-planes-before-2050-2021-06-10/> (дата обращения: 04.12.2021).
17. «In Europe a target SAF share of 10 % of all aviation fuel demand by 2030 is feasible» // Eurocontrol. 2021. February, 18. URL: <https://www.eurocontrol.int/interview/europe-target-saf-share-10-all-aviation-fuel-demand-2030-feasible> (дата обращения: 08.04.2021).
18. Investigation and Maturation of Technologies for Hybrid Electric Propulsion // IMOTHEP. URL: <https://www.imothep-project.eu> (дата обращения: 31.10.2021).
19. Kellner T. GE Invests \$4.3 Billion To Build Next-Gen Jet Engines, Open New Factories In The US // General Electric. 2017. February, 15. URL: <https://www.ge.com/news/reports/ge-invests-4-3-billion-build-next-gen-jet-engines-open-new-factories-us> (дата обращения: 28.02.2021).
20. Larrimer B.I. Beyond Tube-and-Wing: The X-48 Blended Wing-Body and NASA's Quest to Reshape Future Transport Aircraft // NASA Aeronautics Book Series. 2020. URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/beyond\\_tube-and-wing\\_tagged.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/beyond_tube-and-wing_tagged.pdf) (дата обращения: 13.03.2021).
21. Morris B. Giant jet engines aim to make our flying greener // BBC. 2020. January, 17. URL: <https://www.bbc.com/news/business-50850242> (дата обращения: 22.02.2021).

22. Natural laminar flow for fuel-efficient airplanes // European Commission. Official website. URL: <https://cordis.europa.eu/article/id/394834-natural-laminar-flow-for-fuelefficient-airplanes> (дата обращения: 14.03.2021).
23. Regulations for Greenhouse Gas Emissions from Aircraft // United States Environmental Protection Agency – EPA. URL: <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/regulations-greenhouse-gas-emissions-aircraft> (дата обращения: 31.10.2021).
24. Russian Representative’s Cover Letter to the Statement on the Reservations of the Russian Federation concerning Resolutions 16/1 and 17/1 // ICAO. URL: [https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/Resolutions/russia\\_EN.pdf](https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/Resolutions/russia_EN.pdf) (дата обращения: 03.01.2022).
25. *Singh S.* Airbus Wants To Run An A350 Only Using Biofuels // Simple Flying. 2021. March, 18. URL: <https://simpleflying.com/airbus-a350-biofuels/> (дата обращения: 27.03.2021).
26. Spreading our wings: Boeing unveils new Transonic Truss-Braced Wing // Boeing. 2019. January, 8. URL: <http://www.boeing.com/features/2019/01/spreading-our-wings-01-19.page?sf205320177=1> (дата обращения: 26.02.2021).
27. *Squadrin G., Varin C.* Total eyes first biojet output from Grandpuits in 2024 // Argus. 2020. September, 24. URL: <https://www.argusmedia.com/en/news/2144297-total-eyes-first-biojet-output-from-grandpuits-in-2024> (дата обращения: 08.04.2021).
28. Standard Specification For Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons // ASTM. URL: <https://www.astm.org/d7566-21.html> (дата обращения: 03.01.2022).
29. Sustainable aviation fuels – ReFuelEU Aviation // European Commission. Official website. 2020. URL: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12303-ReFuelEU-Aviation-Sustainable-Aviation-Fuels> (дата обращения: 08.04.2021).
30. *Szondy D.* Super-thin wing design cuts fuel costs in half // New Atlas. 2016. April, 8. URL: <https://newatlas.com/nasa-truss-braced-wing/42701/> (дата обращения: 26.02.2021).
31. *Tegler E.* What’s in a Winglet?: Inside the Epic Quest To Build a Better Airplane Wing // Popular Mechanics. 2020. July, 5. URL: <https://www.popularmechanics.com/flight/airlines/a32972180/winglet-history/> (дата обращения: 09.03.2021).
32. The world’s three biggest engine-makers hit a snag // The Economist. 2018. March, 22. URL: <https://www.economist.com/business/2018/03/22/the-worlds-three-biggest-engine-makers-hit-a-snag> (дата обращения: 23.02.2021).
33. *Trautvetter Ch.* Boeing Partners with Aerion, Bets Big on Supersonics // AIN Online. 2019. February, 5. URL: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2019-02-05/boeing-partners-aerion-bets-big-supersonics> (дата обращения: 14.03.2021).
34. Trends in Emissions that affect Climate Change // ICAO. URL: [https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ClimateChange\\_Trends.aspx](https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ClimateChange_Trends.aspx) (дата обращения: 31.10.2021).

35. Winglets Save Billions of Dollars in Fuel Costs // NASA Technology Transfer Program. 2010. URL: [https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2010/t\\_5.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2010/t_5.html) (дата обращения: 09.03.2021).
36. *Woodrow Bellamy III*. Airbus CEO Keeps Commitment to 2035 Zero Emissions Airliner Timeline // Aviation Today. 2021. February, 19. URL: <https://www.aviationtoday.com/2021/02/19/airbus-ceo-keeps-commitment-2035-zero-emissions-airliner-timeline/> (дата обращения: 22.02.2021).
37. Working Towards Ambitious Targets // IATA. URL: <https://web.archive.org/web/20210302185725/https://www.iata.org/en/programs/environment/climate-change/> (дата обращения: 09.03.2021).