

дистиллированную воду и глицерин. Поверхностная энергия влияет на многие физико-химические свойства материалов. В частности, γ входит в известное уравнение Гриффитса, согласно которому напряжение σ , при котором трещина достигает критических размеров, после чего наступает растрескивание, разрушение материала, определяется формулой

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}},$$

где l – длина половины трещины; E – модуль Юнга.

Поэтому для улучшения прочностных характеристик материалов желательно наносить многослойные покрытия, каждое из которых привносит свою лепту в улучшение того или иного свойства материала.

Литература

1. Витязь, П. А. Наноструктуры в конденсированных средах : достижения и перспективы / П. А. Витязь, Э. М. Шпилевский // Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах. – Минск, 2018. – С. 3–8.
2. Капиллярный неразрушающий контроль / П. П. Прохоренко [и др.]. – Минск, 1998. – 160 с.
3. Рудницкий, В. А. Определение физико-механических параметров вязкоупругих материалов методом динамического вдавливания индентора / В. А. Рудницкий, А. П. Крень. // Достижения физики неразрушающего контроля. – Минск, 2003. – С. 134–144.
4. Судник, Л. В. Применение наноструктур в защитных композиционных материалах / Л. В. Судник, В. С. Ткачук. // Наноструктуры в конденсированных средах. – Минск, 2018. – С. 226–229.

УДК 504.3

Экологические проблемы авиации в курсе физики

Кириленко А. И., Шаведдинова К. В.
Белорусская государственная академия авиации
Минск, Республика Беларусь

В работе анализируются факторы воздействия авиации на окружающую среду. Сравниваются данные из различных литературных источников. Показано, что имеющиеся данные зачастую подаются некорректно, методики расчетов не приводятся. Численные значения по эмиссии парниковых газов у разных авторов отличаются в разы. Производится сравнение антропогенной и природной эмиссии парниковых газов. Выясняется роль авиационной отрасли в загрязнении окружающей среды.

Авиация – одна из наукоемких отраслей хозяйственной деятельности. Процессы, протекающие при подготовке летательных аппаратов к полету, сложны и многообразны, как и сам процесс полета. Однако в последнее время наиболее актуальными стали проблемы экологии. Это связано с ускорением темпа жизни и с обострением конкуренции между отдельными видами транспорта. Многочисленные и противоречивые данные, появляющиеся в Интернете и в СМИ, дают повод для анализа вредных факторов воздействия деятельности человека на окружающую среду (ОС). Экологические проблемы дают обширный материал для проведения занятий по физике, особенно по разделу «Молекулярная физика и термодинамика». Некоторые из таких задач рассматриваются в работе. Целью работы является сопоставление различных данных по воздействию на ОС природных процессов, транспорта и авиации, в частности, применяя стандартные физико-математические методы.

Часто приводимые оценки эмиссии CO_2 и других «парниковых» газов больше дают на эмоции, чем представляют реальную картину. Методики получения этих оценок не обсуждаются и не раскрываются.

Экологическим проблемам в авиации уделяется достаточно пристальное и постоянное внимание [1]. Эти проблемы обострились в последнее время, поскольку некоторые страны стали интенсивно увеличивать объем грузоперевозок авиационным транспортом (в Китае за 2018 г. рост составил 50 %, в США – 10 %). Вместе с тем на одну тонну груза при перевозке на один километр выбрасывается граммов CO_2 : самолетом – 560; автомобилем – 47; поездом – 18; судном-контейнеровозом – 3 (усредненные значения). Однако объемы грузоперевозок разные и, в результате, в мировом масштабе автомобильный транспорт выбрасывает в атмосферу в год 11,5 Гт, а полеты гражданской авиации – 2,3 Гт.

Грузооборот воздушным транспортом (по данным по 118 странам) [2] составил в 2018 г. 220 424 млн. тонно км. Это обеспечило эмиссию CO_2 в размере 0,123 Гт. По другим данным – 0,311 Гт по 53 ведущим странам, 2005 г. [2], что в общем-то сопоставимые, но разные величины.

Кроме того, при сгорании авиатоплива обеспечивается эмиссия водяных паров – самого мощного парникового газа, в количествах 0,048 Гт в год, так как 1 кг сожженного керосина обеспечивает эмиссию 3,15 кг CO_2 и 1,23 кг H_2O [1].

Также стоит учесть, что высота горизонтального полета самолетов достигает $9 \cdot 10^3$ м. В эту область и поступает указанное количество водяных паров. По оценкам прибавка одной молекулы воды на 10^6 молекул воздуха в стратосфере влечет за собой изменение суммарного теплового потока через верхнюю границу тропосферы на $0,29 \text{ Вт/м}^2$ [3]. По оценкам [3] через

тропическую тропопаузу в стратосферу ежегодно поступает от 0,33 до 1,13 Гт паров воды.

Пусть указанное количество водяных паров распределяется в слое $\Delta h \approx 2$ км на средней высоте 9 км. Следовательно, плотность водяного пара в этом слое составит $5 \cdot 10^{-8}$ кг/м³. Тогда на высоте тропической тропопаузы (17-18 км), то есть в нижней стратосфере, плотность водяных паров составит в 2,7 раз меньше. Итого по этой модели в нижнюю стратосферу в год поступает $6 \cdot 10^{17}$ молекул воды. Оценка произведена по модели изотермической атмосферы и, конечно, явно завышена, но она четко показывает, что авиация оказывает существенное влияние на ионосферу. Представляет интерес сравнить изменение теплового потока, обусловленного поступлением молекул воды с изменениями, вызванными астрономическими факторами.

Солнечная постоянная в настоящее время принимается равной $1365,98 \pm 0,02$ Вт/м². В 23 (коротком) цикле она составила 1365,79, а в максимумах 21 – 23 циклов – 1365,57; 1365,50; 1365,17 (по отношению к среднему значению), с 1.07 по 1.09 2008 г. – 1365,10. Как видим, изменения сравнимы.

Общий выброс CO₂ в атмосферу за 2018 г. в результате жизнедеятельности человечества ($7,7 \cdot 10^9$ человек) составил 2,1 Гт CO₂. Энергопотребление человечеством составляет $0,6 \cdot 10^{21}$ Дж в год (из них нефть + газ + уголь обеспечивают 81 %), что обеспечивает эмиссию 31,8 Гт (2008 г.), 33 Гт (2019 г.) [2]. Для сравнения заметим, что наземные и водные растения ежегодно включают в состав органического вещества не менее 175 Гт углерода, содержащегося в виде CO₂ в атмосфере и в воде (в виде растворенных карбонатов), что составляет 631,7 Гт CO₂.

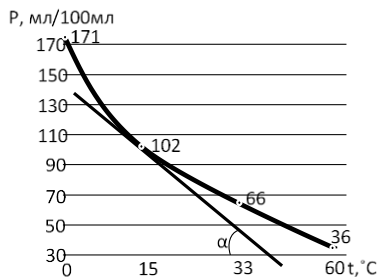


Рис. Растворимость CO₂ в воде в зависимости от температуры

Считается, что основным резервуаром CO₂ на Земле является Мировой океан. При охлаждении он поглощает углекислый газ, а при нагревании отдает. Представляет интерес проверить те оценки, которые приводятся в

разных источниках. По одним данным [4] в 131 см³ воды при 0 °С и давлении в 1 атм растворяется 1,713 см³ СО₂, а при 20 °С – 0,878 см³ СО₂. ($\rho_{\text{CO}_2} = 1,95 \text{ кг/м}^3$), что дает при 0°С – 3,34 г; а при 20 °С – 1,67 г. При линейной интерполяции по этим двум точкам для 15 °С получаем, что в 1 см³ воды растворяется 1,087 г СО₂. По другим данным [5], приведенным на рисунке в виде графика, определим изменение растворимости углекислого газа в воде вблизи температуры 15 °С - средней температуре Земли. Проведем касательную к графику в точке $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, определим тангенс угла ее наклона к оси температур. По рисунку 1: $\text{tg}\alpha = \frac{130-30}{41,8-8,6} = \frac{100}{33,2} = \frac{3\text{мл}/100\text{мл}}{1^\circ\text{C}}$; $\frac{\Delta P}{\Delta t^\circ} = \text{tg}\alpha$;

$$\Delta P = 3 \cdot \Delta t^\circ \frac{\text{мл}}{100 \text{ мл}}.$$

В соответствии с графиком в 100 мл воды при 15 °С растворено 102 мл СО₂ или 1,98 г в 1 мл воды. Различие с приведенными ранее данными в 2 раза. Как видим, любые расчеты хотя и просты, но дают неоднозначные ответы.

Вклад авиации в экологические проблемы, в сравнении с многочисленными природными процессами эмиссии парниковых газов, не столь высок. Авиация, в сравнении с другими, является относительно «чистым» видом транспорта, ее влияние на климат и экологию может со временем стать ощутимым из-за постоянно увеличивающегося воздушного трафика, приводящего к росту загрязнения в верхних слоях тропосферы. Хотя в настоящее время оценки такого влияния являются весьма неопределенными. Следует подчеркнуть, что локальные загрязнения от авиационного транспорта весьма серьезны, но еще более трудно учитываемы.

Литература

1. Асатуров, М. Л. Загрязнение окружающей среды при авиатранспортных процессах / М. Л. Асатуров. – С.-Петербург: Университет ГА., 2010. – 95 с.
2. Мировой атлас данных / кноема [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://knoema.ru/atlas>. – Дата доступа: 12.05.20203.
3. Александров, Э. Л. Человек и стратосферный озон / Э. Л. Александров, Ю. С. Седунов. – С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 1979. – 54 с.
4. Волков, В. А. Большой химический справочник / В. А. Волков. – Минск: Интерпрессервис, 2005. – 608 с.
5. Способность Мирового океана поглощать антропогенный СО₂ сокращается // РИА Новости [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://ria.ru/20091119/194480781.html>. Дата доступа: 21.02.2020