



КОНСУЛЬТАТИВНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ
АГЕНТСТВО «БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ»

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОДУКТ
КОНСУЛЬТАТИВНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО
АГЕНТСТВА «БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ»

1 августа 2010 г.

mail@aviasafety.ru | +7 (916) 130-0864

ПОПАДАНИЕ МОЛНИЙ В САМОЛЕТЫ



КЛАРЕНС Е. РАШ

Перевод КАА «Безопасность полетов»

Понимание механизмов воздействия и последствий ударов молний основывается на продолжающемся уже несколько десятилетий процессе исследований и изучений.

Первое упоминание об авиационном происшествии, связанном с грозовым разрядом, появилось в 1929 году, однако ученые и авиационные инженеры поначалу утверждали, что разряды молнии не стали основной причиной катастрофы, «поскольку доказательства того, что когда-либо в самолет попадала молния, отсутствуют».

В 20-х годах прошлого столетия эксперты признали свою ошибку – попадания самолетов в действие грозовых разрядов случаются довольно часто, однако они редко ассоциируются с летными происшествиями.

Молния представляет собой электрический разряд, происходящий в атмосфере в условиях грозовой деятельности с силой тока, которую можно считать высокой - около 20,000 ампер.

Молнии образуются, когда переохлажденная жидкость и частицы льда сталкиваются при температурах выше точки замерзания, создавая обширные раздельные зоны положительно и отрицательно электрически заряженной облачности.

После того как эти заряды станут достаточно сильными, между ними проскакивает искра, или разряд, который длится менее одной десятой секунды.

Такая искра, или молния, может возникать между облаками, отдельными частями одного облака, либо между облаком и землей или каким-то объектом на земле.

Наиболее распространенным типом, составляющим 90 % всех грозовых разрядов, является «отрицательный» разряд, который происходит между облаком и земной поверхностью. Разряд обычно происходит при накоплении значительной разности потенциалов между отрицательно заряженными облаками и положительно заряженной поверхностью земли, - либо другими облаками. В этот момент отрицательный заряд начинает движение в направлении земли, образуя невидимую токопроводящую цепь, известную как «лидер молнии». Этот лидер молнии проходит вниз сквозь воздушное пространство в виде дискретных зигзагов и прыжков, каждый из которых составляет примерно 150 футов (46 м). Одновременно положительно заряженная длинная узкая полоса движется от земли или другого положительно заряженного облака навстречу лидеру молнии. Когда они встречаются, вдоль этой узкой полосы, вверх и внутрь облака, проскакивает молния. Именно этот обратный удар и является наиболее яркой частью разряда молнии и обычно её единственной видимой составляющей.

Другой тип молнии – известный как «положительная молния» из-за перехода положительного заряда от облака к земле, – начинается в верхних частях грозы,

где находится положительный заряд. Такой тип молнии развивается практически аналогично отрицательной молнии, за исключением того, что стремящийся вниз лидер молнии несет положительный заряд, а последующий восходящий поток с земли – отрицательный. Их количество составляет не более 5 % всех грозовых разрядов, однако их мощность намного выше, длятся они дольше и способны разряжаться на более длинные расстояния, чем обычные отрицательные молнии.

Глобальный масштаб

Молнии встречаются в природе повсеместно. Вспышки наблюдались и при извержении вулканов, и во время крупных лесных пожаров, сильных снежных буранов и мощных ураганов; однако наиболее часто они ассоциируются с грозами.

Являясь глобальными по распространенности, географически грозовые разряды распространяются неоднородно. Примерно 70% вспышек молний происходит между 30° северной и 30° южной широты, то есть в тропиках, что неудивительно, поскольку там происходит наибольшее количество гроз. Кроме этого, молнии над поверхностью материков или в прибрежных водах обычно происходят в 10 раз чаще, чем над океанической поверхностью.

Каждые 1,000 летных часов

До наступления последнего десятилетия, когда сбор информации стал более эффективным, получить подробные данные о попадании молнии в самолеты было сложно.

Однако если соотнести частоту попадания молний в самолеты с частотой выполнения полетов (по расчетам, около 77 миллионов полетов в мире в 2008 году), - то неудивительно, что молнии в самолеты попадают относительно часто. По данным Национального исследовательского центра воздушного пространства Франции, попадание молнии в самолеты происходит в среднем один раз в каждые 1000 часов полета, что эквивалентно одному удару молнии в каждый самолет коммерческой авиации в год (Таблица 1).

Несмотря на то, что для этого необходимо более детальное изучение, уже сейчас можно сказать, что высота является одним из факторов при попадании молнии. Имеющиеся данные говорят о том, что наибольшее количество ударов молний происходит на средних высотах (8000 – 14000 футов), а не на крейсерских эшелонах. Другими существенными факторами вероятности попадания молнии в самолет являются нахождение внутри облачности (90%) и/или наличие дождя (более 70%). Часто к попаданию молнии в самолет относятся по принципу «оказаться в неподходящем месте в неподходящее время», - другими

словами, оказаться на пути прохождения разряда молнии. Однако по расчетам данный сценарий составляет только 10% от числа попаданий молний в самолеты. Фактически, 90% всех грозовых разрядов в самолет вызвано тем, что самолет летит сквозь сильно заряженную зону облачности – факт, не известный вплоть до 1980 годов.

К счастью, хотя случаи попадания молний в самолет и не так уж редки, катастрофы, в которых попадания молнии были признаны основным или сопутствующим фактором, немногочисленны. Изучение баз данных различных авиационных агентств и архивных источников организаций, исследующих влияние молний на безопасность, говорит о различиях в отнесении тех или иных событий к попаданию молний.

По результатам такого изучения, первым в истории авиации летным происшествием, связанным непосредственно с грозовым разрядом, была катастрофа немецкого дирижабля Zeppelin LZ40 (L10), произошедшая 3 сентября 1915 года на немецком острове Neuwerk из-за выброса водорода (8). В списке летных происшествий также упоминается несколько аварий, связанных с попаданием молнии, которые имели место в период с 1915 до начала 1920 годов. Чаще всего можно прочесть, что 3 сентября 1929 года впервые потерпел катастрофу летательный аппарат тяжелее воздуха Ford Tri-Motor авиакомпании Continental Air Transport под названием «Город Сан-Франциско». Все восемь человек, находившихся на борту, погибли при столкновении самолета с землей недалеко от горы Taylor, США, на участке перелета из Альбукерка в Лос-Анджелес при выполнении рейса от восточного до западного побережья США, часть которого осуществлялась поездами, а часть – самолетами.

В течение нескольких последующих десятилетий только чуть более десятка летных происшествий были отнесены к попаданию молнии, однако в большинстве случаев в этом большой уверенности не было.

Первым летным происшествием, связанным с грозовым разрядом, которое было детально описано, была катастрофа транспортного самолета ВВС США Curtiss C-46D, который следовал по маршруту Даллас – Джексон, штат Миссисипи. Катастрофа произошла 14 июня 1945 года из-за попадания молнии в крыло на высоте 3000 футов. В результате самолет не смог выдерживать высоту и упал в лес.

Спустя почти 20 лет катастрофа самолета Боинг 707-121 компании Pan American World Airways была впервые отнесена к положительно заряженной молнии.

Катастрофа произошла при выполнении зоны ожидания в аэропорту Филадельфии 8 декабря 1963 года, когда экипаж ждал разрешение на посадку после рейса из Балтимора. Расследователи происшествия установили, что причиной данной катастрофы стало воспламенение топливных паров в результате попадания молнии. В

результате расследования, проведенного Федеральным агентством гражданской авиации США - предшественником Федерального управления гражданской авиации, стала обязательной установка на всех коммерческих самолетах статических разрядников. База данных авиационных происшествий и инцидентов Национального комитета по вопросам безопасности транспорта США за период с 1 января 1962 года по 30 апреля 2010 года содержит 58 случаев, в которых молния (но необязательно попадание молнии) явилась основной или сопутствующей причиной происшествий. Все случаи касались коммерческих или частных самолетов, за исключением одной катастрофы, которая произошла с воздушным шаром.

В этих 58 случаях роль молнии оценивается следующим образом:

В 41 случае молния попадала в самолет во время полета. Два случая произошли на земле. В одном из них молния попала в самолет, в другом авиационное происшествие произошло на рулежной дорожке в результате отсутствия связи после того, как представители наземных служб сняли наушники из-за грозовой деятельности в районе аэропорта.

В пяти случаях удары молнии произошли в непосредственной близости от самолета, что привело либо к ослаблению зрения у пилотов, либо к частичной потере возможности управления самолетом.

В трех случаях имели место отказы наземного оборудования из-за попадания в них молнии, что привело к катастрофам во время посадки. В двух из этих случаев произошло отключение огней ВПП, в одном – потеря способности управления воздушным движением. В докладах о семи происшествиях/инцидентах молния указывается как фактор, способствовавший их развитию, но ее фактическое влияние не описывается.

Двести два человека погибли, а 46 получили травмы в 58 происшествиях и авиакатастрофах, большинство из которых произошли при следующих обстоятельствах: Катастрофа самолета Lockheed L-1011-385 компании Delta Air Lines 2 августа 1985 года в аэропорту Даллас/Форт Уорт, унесшая жизни 135 человек. 30 человек, включая пассажиров и членов экипажа, получили травмы. Молния была указана как сопутствующий фактор.

Катастрофа самолета Fairchild FH227В компании Ozark Airlines 23 июля 1973 года в Сент-Луисе, унесшая жизни 38 человек. Шесть пассажиров и членов экипажа получили травмы. В качестве вероятной причины катастрофы было названо попадание молнии на предпосадочной прямой.

Среди 202 погибших был также наземный техник, провожавший самолет McDonnell Douglas DC-9-31, который выталкивался от телетрапа в международном аэропорту Орlando при подготовке к вылету. В тот

момент, когда в самолет попала молния, на технике была надета гарнитура.

Из 41 отчета о подтвержденном попадании молний в самолеты, приведших к инцидентам или авиационным происшествиям, в 28 случаях – 68 процентах – самолеты выполнили посадку благополучно.

Последствия попадания молнии

Попадание молнии имеет серьезные последствия как для находящихся на борту людей, так и для самого самолета. Существующая конструкция воздушных судов практически полностью защищает всех находящихся на борту от мощных электрических разрядов. Эта защита основана на принципе, известном как «клетка Фарадея», которую физик Майкл Фарадей изобрел первым в 1836 году.

Клетка Фарадея представляет собой полую емкость, выполненную из токопроводящего материала, такого, как корпус самолета. При наличии сильного электрического поля любой электрический разряд вынужден распределяться по поверхности емкости, в то время как пространство внутри емкости остается незаряженным. Таким образом, металлический корпус самолета действует, как клетка Фарадея, и защищает людей от молнии.

Некоторые самолеты выполнены из современных композитных материалов, которые сами по себе являются в значительной степени худшими проводниками, чем металл. Для решения проблемы, возникающей в отношении обеспечения безопасности, между слоями композитных материалов для проведения тока молнии укладывается слой проводящих материалов или экранов.

Независимо от материала планера, непосредственные последствия попадания в его внешнюю часть молнии могут также включать:

- обгорание или оплавление мест попадания молнии;
- повышение температуры;
- остаточный магнетизм;
- последствия акустического удара;
- образование электрических искр, на петлях, соединениях и клеммах заземления; а также
- воспламенение паров топлива.

База данных авиационных происшествий свидетельствует о том, что последствия большинства попаданий молний в самолеты не представляют серьезной угрозы. Однако приблизительно от одной трети до половины попаданий все же приводят к незначительным повреждениям. Молния, как правило, ударяет в самолет в одном месте, чаще всего в его крайние точки, а выходит из другого.

Признаки обгорания присутствуют в местах как попадания, так и выхода разряда, хотя место выхода

может и отсутствовать, если энергия рассеялась через статические разрядники, основной целью которых является рассеивание скопившегося статического заряда в окружающем воздухе, что происходит во время любого полета.

Так как многие самолеты за время разряда преодолевают расстояния, в несколько раз превышающие их собственную длину, место входа разряда может меняться, так как разряд соприкасается с другими точками, находящимися позади первой точки входа. Место выхода разряда также может смещаться.

Таким образом, при любом попадании молнии может быть несколько точек входа и выхода разряда. Иногда, при более сильных ударах, может быть повреждено электрическое оборудование или авионика. На современных самолетах эта потенциальная проблема решается посредством дублирования. Функции наиболее важных систем самолета дублируются, поэтому попадание молнии вряд ли повлияет на безопасность полета. В большинстве случаев при попадании молнии пилоты докладывают о временном мерцании огней или кратковременных помехах в приборах.

Исключение составляют молнии с положительным зарядом. Из-за большей мощности молнии с положительным зарядом гораздо более опасны, нежели с отрицательным зарядом. Мало какие самолеты сконструированы таким образом, чтобы выдержать эти удары без значительных повреждений.

Методы защиты

Тщательное планирование полета и использование метеолокаторов помогают ограничить вероятность попадания молнии в воздушное судно. Хорошей и безопасной практикой является обход по крайней мере в 20 м. милях (37 км) любой грозовой деятельности, которая дает сильный радиолокационный отраженный сигнал.

Авиационные организации, осуществляющие функции авиационного надзора, повсеместно установили стандарты сертификации, требующие способности воздушного судна выдерживать попадание молнии и продолжать полет до безопасной посадки на приемлемом аэродроме. Кроме этого, современные разработчики самолетов применяют несколько эффективных систем защиты, которые реагируют на возможные прямые и косвенные повреждения от удара молнии. Эти системы предназначены для обеспечения предпочтительных путей для электрического тока, связанного с разрядом молнии, чтобы он мог войти в воздушное судно и выйти из него без ущерба для воздушного судна и находящихся в нем людей. Эти системы можно разделить на три основные категории защиты: защита корпуса и конструкции; защита

топливной системы; защита электрической и электронной систем (авионики).

Основной целью защитной системы корпуса и конструкции самолета является минимизация и контроль мест попадания и выхода молнии. Первый шаг заключается в том, чтобы определить места (или зоны) наибольшей уязвимости к ударам молнии. Для большинства воздушных судов такими зонами являются (по убыванию): обтекатель локатора, законцовки крыла, нижняя часть фюзеляжа и зона под крыльями. Второй шаг - убедиться в том, что для этих потенциальных точек входа молнии имеются приемлемые пути прохождения разряда, а также в том, что эти пути ведут к соответствующим точкам его выхода. В значительной степени это достигается за счет электропроводимости корпуса самолета. Для внешней части корпуса очень важно, чтобы возможные разрывы между секциями были соединены токопроводящими планками, чтобы снизить возможность образования электрической дуги.

Наиболее частые точки выхода на законцовках крыла, стабилизаторе и киле должны быть оборудованы статическими разрядниками. Однако эти статические разрядники не являются молниеотводами, и они не снижают вероятность попадания молнии в самолет. Тем не менее, если молния все же попадает в него, то больше шансов, что электричество пройдет через разрядник, а не через самолет.

Топливная система

Основной целью защиты топливной системы является предотвращение возгорания паров топлива. Топливные баки и связанные с ними системы не должны иметь потенциальных источников возгорания, таких как электрические дуги и искры. Все структурные соединения, петли, задвижки должны быть сконструированы таким образом, чтобы при переходе разряда молнии от одной секции к другой не возникали искры. Обшивка самолета возле топливных баков также должна быть достаточно устойчивой к прогоранию в результате попадания молнии.

Второй аспект защиты топливной системы касается самого топлива. Современные технологии привели к тому, что топливо стало производить меньше взрывчатых испарений. Также имеются различные добавки, способные уменьшать образование этих испарений.



Авионика

На современных самолетах общая длина электропроводки измеряется километрами; на них установлено множество компьютеров и электронных систем, поэтому большинство методов защиты от молнии создано для того, чтобы обезопасить чувствительные к токам системы авионики. Оборудование, абсолютно необходимое для производства полета, и жизненно-важные системы должны продолжать функционировать после как прямых, так и косвенных воздействий удара молнии.

Так как разряд от удара молнии проходит по внешней части корпуса самолета, он может вызывать резкие подъемы напряжения, или временные колебания тока, в прилегающей проводке и электронном оборудовании. Изоляция, заземление и подавление перенапряжения являются самыми распространенными способами преодоления этой проблемы. Изолированный кабель - это провод, заключенный в токопроводящую оболочку (экран), который действует по принципу клетки Фарадея.

На воздушном судне изолированный кабель может иметь два слоя - внешний слой для защиты от удара молнии и внутренний, который исключает нежелательные электромагнитные помехи.

Подавление перенапряжения используется для ограничения быстрых скачков напряжения, которые существенно превышают обычные уровни для электронной цепи или

системы. Быстрые скачки напряжения могут привести к искрению, которое расплавит один или более из составных элементов и значительно разрушит цепь. Подавление перенапряжения работает посредством отведения возросшей нагрузки на заземленную линию.

Каждая цепь и часть оборудования, жизненно необходимые для безопасного полета, должны быть защищены от удара молнии в соответствии с требованиями, принятыми полномочными органами гражданской авиации.

Исследования показали, что воздушные суда со встроенной защитой от удара молнии и нежелательного электромагнитного воздействия имеют значительно более низкий процент отказов электрики, вызванных попаданиями молнии.

Если попадание молнии все-таки произошло, то крайне важен осмотр воздушного судна после случившегося. Главное - это тщательно осмотреть воздушное судно с целью обнаружения выгоревших и поврежденных молнией участков, которые могут потенциально указать на места ее входа и выхода. Любые признаки искрения, особенно в местах рядом с петлями и соединяющими планками, необходимо внимательно исследовать. Также должна быть проведена тщательная проверка всей критически важной авионики. Необходимо выполнить все дополнительные процедуры, которые перечислены в руководстве по эксплуатации воздушного судна.

Кларенс Е. Раш – физик-исследователь с тридцатилетним опытом работы, связанной с исследованиями и разработками в области военной авиации. Он является автором более 200 работ в области применяемых в авиации дисплеев, человеческого фактора, а также по защите воздушного судна.

Примечания:

1. Parton, Lemuel F. "Records Reveal hat No Airplane Hit by Lightning," he Deseret News, Salt Lake City, Utah, U.S. Sept. 7, 1929.
2. U.S. National Weather Service. "Lightning Safety," National Oceanic and Atmospheric Administration. <www.lightningsafety.noaa.gov/science.htm>.
3. Christian, H.J. et al. "Global Frequency and Distribution of Lightning as Observed From Space by the Optical Transient Detector." Journal of Geophysical Research. 108(D1): 4005 (2003).
4. O'Loughlin, J.B.; Skinner, S.R. "General Aviation Lightning Strike Report and Protection Level Study." U.S. Department of Transportation, FAA. DOT/FAA/AR-04/13. 2004.
5. Airports Council International. "Airports Report Flat Traic Growth in 2008." <www.aci.aero/cda/aci_common/display/main/aci_content07_c.jsp?zn=aci&cp=1-5-54_666_2_>.
6. Rupke, E. Lightning Direct Effects Handbook. Pittsfield, Massachusetts, U.S.: Lightning Technologies. (2002).
7. Radov, V.A.; Uman, M.A. Lightning: Physics and Effects. Cambridge University Press: New York. (2002).
8. Century of Flight. "Timeline: 1915" <[www.century-of-light.net/Aviation history/aviationtimeline/1911_to_1920.htm](http://www.century-of-light.net/Aviation%20history/aviationtimeline/1911_to_1920.htm)>.
9. Hopkins, George E. "Transcontinental Air Transport Inc." American Heritage Magazine Volume 27 (December 1975).
10. Aviation Safety Network. "Accident Description: 14 Jun 1945." <aviation-safety.net/database/record.php?id=19450614-3>.
11. From a search of the NTSB Accident/Incident Database. In two accident reports, a lightning strike could not be conirmed but was reported by witnesses.
12. NTSB. Accident report no. DCA85AA031.13. NTSB. Accident report no. DCA74AZ003.
13. NTSB. Accident report no. MIA90FA008.
14. Rupke.
15. Harrison, H.T. "United Air Lines Turbojet Experience With Electrical Discharges." United Air Lines Meteorological Circular, No. 57. (1965).
16. U.K. Department of Transport. Air Accidents Investigation Branch Bulletin. December 1999: "Schleicher ASK 21 Two Seat Glider." <www.aaiib.gov.uk/cms_resources.cfm?ile=/dt_avsafety_pdf_500699.pdf> United Kingdom. (2004).
17. FAA. "Lightning and Surge Protection, Grounding, Bonding, and Shielding Requirements for Facilities and Electronic Equipment." Department of Transportation, FAA Standard FAA-STD-019e. (2005).
18. Rupke.
19. Ibid.
20. O'Loughlin, Skinner.