

Э. Г. Азнакаев, А. С. Протоерейский

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ГРОЗЫ НА ЭКИПАЖ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

*Рассмотрена биофизика процесса воздействия на человека переменных электромагнитных полей, возникающих во время электрических разрядов в атмосфере во время грозовой деятельности. Проанализированы возникающие при этом изменения и отклонения в состоянии членов экипажа, которые могут привести к неадекватным действиям и ошибкам в управлении летательным аппаратом.*

Разряды атмосферного электричества (молния) сопровождаются электромагнитными излучениями очень широкого спектра частот. Это подтверждается тресками и характерными шумами в радиоприемниках буквально на всех диапазонах в период грозовой деятельности. Эти трески и шумы прослушиваются на расстоянии более 100 км от района грозовой деятельности.

Известно, что один сантиметр сухого воздуха при нормальных параметрах пробивается 30 кВ. Тогда видимая в несколько километров часть молнии на небосклоне будет иметь напряжение, по крайней мере, в несколько миллионов вольт, а ток – в сотни тысяч ампер. Такие токи разрядов атмосферного электричества способны образовывать и излучать электромагнитные поля (ЭМП), которые воздействуют на летчика при полете воздушного судна (ВС) в районах с грозовой деятельностью как непосредственно, так и вблизи них.

Из теории радиотехники известно, что приемником энергии электромагнитного поля могут быть физические предметы, размеры которых соизмеримы с  $1/4$  или  $1/2$  длины волны этого поля.

Учитывая тот факт, что спектр частот разрядов атмосферного электричества, во-первых, очень широк, а во-вторых, содержит частоты миллиметрового диапазона длин волн и менее, энергия этих полей может усиливаться почти всеми биофизическими и биохимическими структурами живой материи. Энергия электромагнитных полей в этих структурах вызывает их нагревание (тепловой эффект), не свойственное живой клетке.

Человеческий организм – это активная среда, с непрерывно идущими в нем биохимическими реакциями, обменом веществ, превращениями энергии, делением клеток и т.д. Воздействие ЭМП на биообъект определяется как параметрами самого электромагнитного поля, так и спецификой его приема в тканях, особенностями восприятия, обработки и передачи информации в организме. Это воздействие может приводить как к тепловому (энергетическому) нагреву ткани организма, так и к волновым (информационным) эффектам.

Большая часть объема ВС экранирована от внешних электромагнитных полей. Передняя, боковые и иногда верхняя части кабины ВС имеют прозрачное неметаллическое покрытие и являются поэтому проницаемым для внешних ЭМП.

К тепловому эффекту приводят ЭМП большой мощности, приложенные непосредственно к организму. В случае воздействия на экипаж электромагнитных полей, грозовых разрядов этот эффект мал.

К волновым (информационным) эффектам могут приводить ЭМП достаточно малой мощности, генерируемые на наиболее восприимчивых человеческим организмом частотах. Этот случай может реализоваться при воздействии ЭМП грозовых разрядов на экипаж.

Волновое воздействие ЭМП происходит через системы передачи и обработки информации в организме (нервную, гуморальную и другие системы).

Электромагнитное поле влияет на биологические молекулы, составляющие структуру ткани, на изменение скорости прохождения биохимических реакций в клетках ткани, на изменение проницаемости мембран и обменных процессов в клетках ткани. Это воздействие имеет место на наиболее восприимчивых организмом частотах ЭМП и не требует, как показали исследования [1], большой мощности излучения. Однако, оно имеет отдаленное внешнее проявление в виде изменений функций организма.

Основное влияние на организм человека оказывают воздействия ЭМП сверхвысоко-частотного диапазона. Для проявления биологического эффекта мощность таких ЭМП может быть достаточно мала (около  $10^{-6}$  Вт м<sup>-2</sup>) [1].

При полетах в сухой атмосфере ЭМП атмосферных электрических разрядов на расстояниях до 100 км от грозового фронта способны возбудить молекулы воды, входящие в состав человеческого организма, и оказывать существенное влияние на летчика. Наиболее сильное влияние на молекулы воды оказывают ЭМП из диапазона ( $640 - 2821$  см<sup>-1</sup>), ( $2039 - 4604$  см<sup>-1</sup>), ( $4000 - 11000$  см<sup>-1</sup>). Влияние также оказывают ЭМП из оптического диапазона ( $13274 - 14216$  см<sup>-1</sup>) и диапазона ( $0.4 - 4604$  см<sup>-1</sup>) [2].

При полетах во влажной атмосфере в зоне грозового фронта ЭМП способны возбудить молекулы воды, входящие в состав организма, не доходя до экипажа ввиду их поглощения молекулами воды влажной атмосферы.

Существенен также учет волнового воздействия ЭМП на организм через его системы передачи и обработки информации.

Суть волнового воздействия на организм поступающих извне ЭМП заключается в подобности их сигналов сигналам, вырабатываемым системами обработки информации организма. Система обработки и обмена информацией в организме определяет согласованную работу органов и систем человека. Возникновение ошибок в действиях экипажа может быть вызвано нарушениями в системах обработки и передачи информации, вызванными внешними ЭМП, к действию которых человек не адаптирован.

Диапазон частот волновых воздействий очень широк - от низких до высоких частот ЭМП, в том числе импульсы оптического диапазона. Разные частоты ЭМП различным образом влияют на системы приема, обработки и передачи информации в организме, на длительность сохранения состояния возбуждения, на характер реакции рецепторов на ЭМП.

Электромагнитные поля миллиметрового диапазона волн могут влиять на кроветворную систему организма, костный мозг; усиливать действия химиотерапевтических препаратов, увеличивая их токсичность; модулировать действия гормональных препаратов; влиять на работу сердца, органов дыхания и пищеварения. Поэтому даже прием нейтральных в обычных условиях лекарств под действием ЭМП может приводить к нарушению работы нервной системы и ошибкам в действиях экипажа в условиях грозы.

Время проявления волновых воздействий ЭМП на организм составляет, как показывают исследования [3], несколько часов и даже минут. Это время сопоставимо со временем пребывания экипажа в зоне грозовой деятельности фронта. Степень воздействия ЭМП на организм зависит от частоты колебаний, уровня мощности, длительности воздействия, периодичности воздействия. Причем эти последствия воздействия могут носить кумулятивный эффект: результат этого воздействия может проявиться не сразу, а после нескольких случаев облучения, т.е. не во время первого попадания в грозовую фронт, а во второй и следующие периоды попадания в зону грозового фронта. Эти периоды между последовательными попаданиями в зону грозового фронта связаны с индивидуальными биологическими ритмами члена экипажа.

Основное влияние ЭМП оказывают на нервную систему человека. Кора мозга сама является источником электрического поля биотоков мозга. Основные проявления активности мозга: фоновая активность (в спокойном состоянии при отсутствии раздражения рецепторов, проводящих путей и самого мозга) (электрическая реакция на раздражение рецепторов) (вызванные потенциалы). Эти электрические ритмы могут быть зафиксированы при отведении от кожи головы (электроэнцефалограмма — ЭЭГ) [3].

В настоящее время различают следующие ритмы ЭЭГ человека: дельта-ритм частотой ( $0.5 - 4 \text{ с}^{-1}$ ); тета-ритм частотой ( $5 - 7 \text{ с}^{-1}$ ); альфа-ритм частотой ( $8 - 13 \text{ с}^{-1}$ ); сигма-ритм частотой ( $13 - 14 \text{ с}^{-1}$ ); бета-ритм частотой ( $15 - 35 \text{ с}^{-1}$ ); гамма-ритм частотой ( $35 - 100 \text{ с}^{-1}$ ); сверхмедленные колебания частотами ( $0.5 - 2 \text{ мин}^{-1}$ ) и ( $1 - 8 \text{ мин}^{-1}$ ). Поэтому, если частота ЭМП или частота периодов попадания в область действия ЭМП совпадают с приведенными частотами, то следует ожидать, что действие ЭМП на организм значительно усиливается. Кроме того, существуют также индивидуальные биологические ритмы организма: суточные, месячные и другие [4]. Совпадение периодов попадания в зону действия ЭМП с этими биологическими ритмами также может приводить к усилению воздействия ЭМП.

Работа человека [4,5] в определенные часы суток является одним из факторов, определяющим суточный ритм его биологических процессов, в соответствии с которым может меняться работоспособность человека. Суточные изменения ритма в малой степени влияют на успешность реализации простых и стереотипных решений, но очень четко проявляются при выполнении работ, которые связаны с некоторой неопределенностью. Эти работы в свою очередь требуют оценки окружающей обстановки и принятия собственных решений или устойчивости системы по отношению к внешним помехам.

Отрицательно влияет на организм человека работа, которую начинают очень рано утром или заканчивают очень поздно ночью. При этом в большей или меньшей мере нарушается суточный ритм. В таких условиях работают летчики гражданской авиации. Они работают в самые различные часы суток и без всякого регулярного ритма. Для летчиков организуются необходимые условия отдыха в профилакториях. Они вырабатывают способность засыпать в любое время суток, но дневной сон все равно бывает поверхностным и беспокойным и не обеспечивает полноценного отдыха.

Суточный ритм у летчиков нарушается еще от перелетов в районы с другим поясным временем. Собственный ритм организма сдвигается по фазе в соответствии с поясным временем пункта прибытия, а это приводит к нарушению надлежащих условий послеполетного отдыха. Адаптация суточного ритма после перелета может составлять 5–10 суток и поэтому обратный рейс ВС проходит в условиях десинхронизации. Нарушения суточного ритма, как установлено, более резки при перелетах с Запада на Восток и из мест постоянного жительства и менее выражены при перелете с Востока на Запад и при возвращении на постоянное место жительства.

Под действием ЭМП миллиметрового диапазона у летчиков происходит изменение обменных процессов, проницаемости мембран клеток, скорости биохимических реакций, что в свою очередь ведет к снижению устойчивости внимания и быстроты реакции. Но даже незначительное снижение устойчивости внимания и скорости реакции может иметь важное значение у пилотов во время захода на посадку, при возникновении пожара или отказе в работе одного из двигателей ВС в полете.

Следует отметить, что кора и подкорковые образования у человека связаны прямыми и обратными связями в единое целое: сигналы, идущие от подкорки к коре поддерживают работоспособность и тонус коры, а кора, в зависимости от оценки приходящих в нее сигналов, может возбуждать или тормозить подкорковые структуры мозга. Кортикальная ритмика тесно связана с функциональным состоянием подкорковых структур и приводит к существ-

вованию альфа-ритма. Среди нейронов коры есть “песмейкеры” – водители ритма, задающие тон другим клеткам и под воздействием идущих к ним импульсов являются генераторами фоновой активности мозга. В результате ЭЭГ является результатом сложной комбинации активностей нейронных генераторов. Нелинейное взаимодействие, вызывающее “притяжение” частот колебаний, генерируемых нейронами мозга, создает самоорганизующуюся систему мозга. Обнаружена также зависимость между частотами внутриклеточных колебаний и ЭЭГ.

Сигналы внешнего мира, превращаясь в органах чувств в нервные импульсы, кодируются и передаются по нервным проводникам через подкорковые образования в кору мозга, где подвергаются анализу и синтезу. В глубине мозга эти сигналы, попадая в скопление нервных клеток ствола мозга, образующих сложную сеточку – “ретикулу”. Через (30-40)  $10^{-3}$  с в кору поступают импульсы от ретикулярной формации. При этом ретикулярная формация оказывает дополнительное влияние на кору, усиливая активность того или иного отдела мозга.

В связи с этим механизмом усиленные в организме внешние ЭМП грозового фронта соответствующих частот забивают паразитными избыточными сигналами ретикулярную систему, что нарушает нормальное функционирование нервной системы и мозга и может привести к неадекватной реакции и ошибкам экипажа.

Таким образом, подлежат учету при изучении условий труда летчиков эффекты накопления напряжения нервной системы при периодическом воздействии ЭМП электрических атмосферных разрядов. Поэтому следует различными техническими средствами уменьшать вредное воздействие ЭМП этих разрядов на летчиков. После каждого случая попадания экипажа в ходе полета в зону действия грозового фронта необходимо проводить медицинские мероприятия по релаксации напряжения нервной системы летчиков для обеспечения безопасности полетов. Медикам авиакомпаний необходимо также постоянно отслеживать, чтобы периодичность попадания летчиков в зону действия ЭМП грозового фронта не совпадала бы с их биологическими ритмами и вносить корректировки в графики вылетов экипажей.

#### Список литературы

1. Холодов Ю. А. Магнитные поля биологических объектов. -М.: Наука, 1987. -145 с.
2. Быков А. Д., Макушкин Ю.С., Улеников О.Н. Колебательно-вращательная спектроскопия водяного пара. -Новосибирск: Наука, 1989. – 295 с.
3. Девятков Н.Д., Гельвич Э.А., Голант М.Б. Радиофизические аспекты использования в медицине энергетических и информационных воздействий электромагнитных колебаний. //Электронная техника. Серия: Электроника СВЧ. – 1981. – Вып. 9, – С. 43-49.
4. Осипов О.В. Нарушение суточного ритма при чрезмерно раннем начале и чрезмерно позднем окончании рабочего дня. – В кн. Циркадные ритмы человека и животных. – Фрунзе: Тулпар, 1975. – С. 81-82.
5. Rutenfranz J. Investigations of the daily working hours and the distribution of leisure , time and sleep.- International Archiv. If. Arbeitsmedizin, 1974, Bd. 32. – P. 243-259.

Стаття надійшла до редакції 30 грудня 1999 року.