

# Испытательный полигон в Бразилии

Качоэйра Паулиста



## Цели исследования

**Объект Качозейра Паулиста был специально построен в 1998 году в штате Сан Пауло, Бразилия, в качестве базы для проведения испытаний с молниями естественного происхождения и искусственно инициированными молниями. Строительство осуществлялось по инициативе компании INDELEC при участии INPE (Бразильского института космических исследований) и в сотрудничестве с университетом Тулузы - Франция, НИИ Гидро в Квебеке - Канада и университетами Кампинаш и Сан Жозе Душ Кампуш - Бразилия.**

**В 2001 году к исследованиям присоединились еще две группы: ученые из Франс Телеком и их бразильские коллеги из Телебраш.**

**С самого начала группы ученых и инженеров компании INDELEC проводят серии испытаний, направленных на сравнение характеристик одиночных стержневых молниеотводов и молниеотводов с упреждающей стримерной эмиссией. Для установки молниеотводов было построено специально оснащенное сооружение с полным набором измерительной аппаратуры, которое впоследствии подвергалось ударам молнии, вызываемым на больших высотах, чтобы молния сама, естественным образом, выбирала точку для удара.**

С появления самых первых молниеотводов с упреждающей стримерной эмиссией в 1980-ых годах компания INDELEC всегда уделяла огромное внимание проверке эффективности своей продукции в полевых условиях. Для этого INDELEC завязала тесное научно-техническое сотрудничество с Комиссией по атомной энергии, разработавшей способ инициирования разрядов молний.

Общими целями для всех видов испытаний, проводимых во Флориде, Франции и Бразилии, являлись:

- проверка технического принципа работы PREVECTRON<sup>®2</sup> (инициирование разряда в зависимости от роста интенсивности электрического поля  $\Delta V/\Delta t$ );
- сравнение рабочих характеристик одиночных стержневых молниеотводов и молниеотвода PREVECTRON<sup>®2</sup> при разряде молнии;
- измерение силы тока восходящего лидера от наконечника каждого вида молниеотвода;
- проверка надежности PREVECTRON<sup>®2</sup> под влиянием естественных ударов молний (аналогичное исследование также проводится нашей группой на базе Нагати в Японии);
- демонстрация упреждающего восходящего лидера, образующегося на молниеотводах с упреждающей стримерной эмиссией в отличие от простых стержневых молниеотводов.



Расположение испытательной базы



Пусковая платформа и мачты с проводниками



Стволы для пуска ракет



Ракета для инициирования разряда молнии

## Общие сведения об испытательной базе

Испытательная база Качозейра Паулиста расположена на территории Института космических исследований на полпути между Сан Пауло и Рио де Жанейро. Такое географическое расположение (22°41,2' южной широты, 44°9,0' западной долготы и высота над уровнем моря 625 м) является идеальным для условий тропических гроз.

В 1998 году начались два рода работ:

- строительство специально оборудованного сооружения для проведения испытаний в естественных условиях разрядов молнии с применением простых стержневых молниеотводов с заостренным ( $r < 1$  мм) и расширяющимся ( $r = 15$  мм) наконечником, и двух молниеотводов PREVECTRON<sup>®2</sup>;
- строительство платформы для инициирования разрядов молнии, оснащенной различного рода молниеприемниками с контрольно-измерительной аппаратурой.

Инициирование разрядов происходит с помощью ракет, несущих за собой медный проводник с изоляцией из кевлара на концевом участке.

При запуске в условиях соответствующего электрического поля ракеты долетают до основания грозового облака, имеющего электрический заряд, и вызывают «короткое замыкание» на землю.

Затем нисходящий лидер свободно проходит вниз по проводнику до земли.

Кроме стволов для пуска ракет в состав испытательной платформы входят три наконечника молниеотводов; она полностью оснащена аппаратурой для точного измерения как малых токов восходящих лидеров, так и больших токов естественных разрядов молнии.

К одной из мачт на одной высоте с наконечниками крепится также датчик электрического поля.

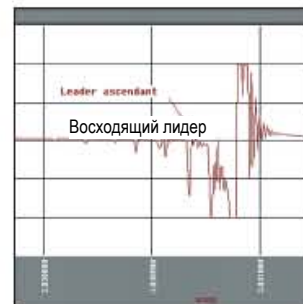
Для обеспечения надежности проводимых измерений и во избежание каких-либо электромагнитных помех, возникающих вследствие изменений в окружающем электрическом поле, все данные передаются по волоконно-оптическому кабелю.

Установлены также несколько видеокамер, помогающих контролировать и регистрировать разряды молний как естественного происхождения, так и вызываемых искусственно.

Силами НИИ Гидро, Квебек, было установлено несколько автоматических видеокамер, включаемых оптическим (вспышка молнии) или электромагнитным (петля индуктивности) способом.

Самая быстрая видеокамера способна вести запись со скоростью 8000 кадров в секунду.

## Результаты исследований 1998-2003 г.г.



Впервые видеозапись позволила ученым увидеть процесс образования восходящего лидера от молниеотвода PREVECTRON<sup>®</sup>2. При этом простые стержневые молниеотводы в аналогичных условиях не проявляли сколько-либо заметной активности.

В обоих случаях вспышки молнии были зарегистрированы, по меньшей мере, на четырех кадрах, то есть в течение 130 м/сек. при скорости 30 кадров в секунду. Два приведенных выше кадра были сняты в естественных, не вызываемых искусственно, условиях разряда молнии. Они определенно доказывают справедливость утверждения того, что система ионизации молниеотвода PREVECTRON<sup>®</sup>2 обеспечивает эмиссию упреждающего стримера.

Обычный стержневой молниеотвод

PREVECTRON<sup>®</sup>2 S6.60

Накопленные данные также позволили измерить величину тока упреждающего разряда в верхней части молниеотводов PREVECTRON<sup>®</sup>2 и сравнить ее с активностью в зоне обычного стержневого молниеотвода. На вышеприведенных графиках показана форма и амплитуда сигналов тока для обоих видов законечников. Начальные импульсы (коронный разряд без распространения) появляются одновременно на молниеотводе PREVECTRON<sup>®</sup>2 и простом стержневом молниеотводе. Тем не менее, затем форма сигнала тока в зоне PREVECTRON<sup>®</sup>2 показывает иницирование восходящего лидера, впоследствии распространяющегося до возникновения первого обратного удара молнии (индукционное насыщение). В это время коронный разряд аналогичного размера в зоне обычного стержневого молниеотвода безуспешно пытается вызвать иницирование лидера.

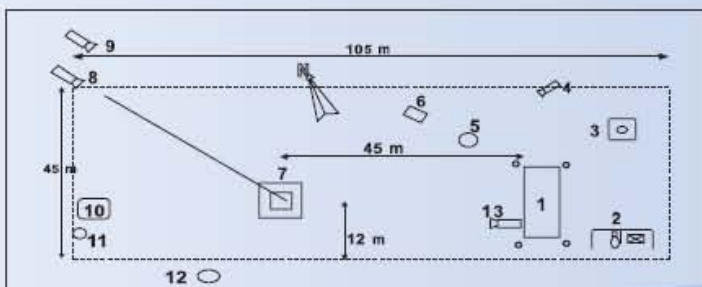


Пункт управления

Внутри пункта управления

Запуск ракеты LSR-G

Запуск ракеты LRS-A



- 1> Пункт управления
- 2> Генераторная станция, источник сжатого воздуха и топливный резервуар
- 3> Датчик электрического поля (датчик пуска)
- 4> Установка НИИ Гидро, Квебек: автоматическая видео камера (для съемки разрядов молний естественного и искусственного происхождения), установленная на расстоянии 75 м
- 5> Установка университета Сан Жозе Душ Кампуш (института космических исследований): изучение вертикального элемента излучаемого электрического поля
- 6> Установка университета Кампинаш (UNICAMP): изучение электромагнитной индукции в "пространственной клетке"
- 7> Пусковая платформа INDELEC для испытаний молниеотводов и измерений
- 8> Видео камера, управляемая с пункта управления (1), установленная на расстоянии 50 м
- 9> Установка НИИ Гидро, Квебек: автоматическая видео камера (для съемки разрядов молний естественного и искусственного происхождения), установленная на расстоянии 800 м
- 10> Станция GPS (институт космических исследований, Качоейра)
- 11> Геодезическая метка
- 12> Отдельно стоящее дерево
- 13> НИИ Гидро, Квебек: видео камера (800 кадров в секунду)

**Ракеты LRS-A**  
 Скорость 150 м/с  
 Длина проволоки > 800 м  
 Проводящая проволока: 700 м  
 Непроводящая проволока (Кевлар): 100 м







Два одновременных нисходящих ступенчатых лидера (из видеоматериалов НИИ Гидро, Квебек)



Разветвляющиеся нисходящие ступенчатые лидеры (из видеоматериалов НИИ Гидро, Квебек)

Кроме этих впервые полученных видеоснимков, испытания, проводившиеся в условиях разрядов молний естественного происхождения, дали следующие результаты:

### А

Была проведена проверка основного принципа работы молниеотвода PREVECTRON®2, которая подтвердила положительные результаты, полученные ранее в Кэмп Блэндинг, Флорида и Сен Прива д'Аллье, Франция: система ионизации PREVECTRON®2 автоматически реагирует на резкое возрастание интенсивности электрического поля, являющееся признаком появления нисходящего лидера.

### В

Информация, полученная при пусках ракет, свидетельствует о прочности конструкции молниеотвода PREVECTRON®2, способной выдержать многократные удары молнии: среднее значение силы тока, измеренное при ударах молний, инициировавшихся на Качозэйра Паулиста, составляет 27 кА (по сравнению со всего лишь 13,5 кА, полученными на испытаниях, проводимых в течение 1993-94 г. в Кэмп Блэндинге, Флорида) в среднем при 6 обратных ударах молнии (силой более 3 кА).

### С

В ходе каждой программы испытаний ученым удалось собрать неоценимую информацию о тропических грозах, в то время как партнеры компании INDELEC занимались своими исследовательскими проектами, среди которых – электромагнитные помехи, влияющие на воздушные линии телекоммуникации. Видеоматериалы, полученные с применением высокоскоростных камер, позволили исследователям получить беспрецедентный ряд снимков и прочую информацию о формировании разряда молнии (см. фотографии нисходящих ступенчатых лидеров из материалов видеосъемки).

## Заключение

Работы на базе Качозэйра Паулиста в Бразилии явились продолжением программы испытаний в условиях разрядов молний естественного происхождения, начатой компанией INDELEC во Флориде в 1993 г. Эти испытания предоставляют массу неоценимой информации в плане как фундаментальных, так и прикладных исследований:

- даже в наши дни неопределенность, которая окружает явление молнии, продолжает волновать научные круги. Компания INDELEC регулярно предоставляет новую информацию, полученную в ходе каждого этапа испытаний, тем самым внося свой вклад в лучшее понимание явления молнии.
- испытания также являются неотъемлемой частью стратегии компании, направленной на совершенствование изделий. Испытания позволяют всесторонне оценивать весь модельный ряд молниеотводов PREVECTRON®2 и вспомогательное оборудование в естественных грозовых условиях и обеспечивают возможность их дальнейшего совершенствования.



molninet.ru