

# Мониторинг окружающей среды и защита РЭА от инфразвуковых колебаний

Вадим Экземплярский

Новые вызовы времени регулярно заявляют о себе. Наряду с разными возможностями контроля, диагностики окружающей среды изучаются методы определения и фиксации импульсов инфранизкой частоты, пронизывающих атмосферу, акватории, и имеющих свойства отражения от земной поверхности и частично – от возведённых на ней объектов. В обзорной статье дан анализ новых достижений в области мониторинга волн ИНЧ с целью формирования тактики защиты человека, а также противодействия разрушению РЭА.

## Методы обнаружения возмущения природного фона (взрывов)

Космическое пространство – естественная среда с присутствующим излучением разных характеристик, в том числе с радиационной и ионизирующей составляющей. Изучения космических явлений, в том числе в атмосфере и её слоях, солнечной активности проводятся постоянно и разными странами. Исследования проводятся не только с целями уточнения источников вторичного излучения в виде нейтронов, гамма-квантов, протонов и других тяжёлых частиц, но и для защиты космических аппаратов, включая спутники различного назначения. Электронные диагностические устройства обнаружения возмущения атмосферы, в том числе ядерного взрыва (NDDS), идентифицируют и классифицируют по мощности и направлению источники геомагнитной, гидроакустической, инфразвуковой и сейсмической активности и аномалии (в том числе взрывы), а также связаны с отбором проб воздуха. При ядерных взрывах в воздух попадают радиоактивные изотопы, которые могут быть условно безопасно собраны посредством БПЛА. Радионуклиды могут включать америций-241, йод-131, цезий-137, криптон-85, стронций-90, плутоний-239, тритий и даже ксенон. Однако пробы воздуха возможны и с помощью сети наземных контрольных «радионуклидных» станций, установленных по всему миру. Даже подземные испытания выделяют радиоактивные газы (ксенон и др.), доступные к обнаружению. Одним из недостатков метода является то, что воздушные потоки перемещают радионуклиды непредсказуемым

образом, в зависимости от места взрыва и погодных условий в соответствующее время. Кроме того, БПЛА не может пока «бороздить» стратосферу и космос. С другой стороны, сейсмический метод определения аномалий более универсален: вибрация распространяется как в космическом пространстве, так и на земле на большое расстояние. Поскольку энергия, вызванная взрывом или сильной сейсмической активностью, будет передаваться по-разному, наблюдения за сейсмическим и инфразвуковым фоном признаны в нескольких странах перспективными для обнаружения несанкционированной детонации поверхности Земли и в космическом пространстве. Договор о частичном запрещении испытаний (РТВТ) запрещает ядерные испытания в атмосфере, под водой и в космическом пространстве. Однако кто в современном мире знает, насколько фактически долгосрочны некогда заключённые договоры?

Для обнаружения и контроля над проведением подземных, подводных и космических испытаний в бюджетах многих стран предусмотрены сейсмологические исследования. Значительный прогресс был сделан за декаду лет Шериданом Спитом, который преобразовал данные сейсмографов в звуковые файлы. Теперь возможно отличить землетрясения от взрывов, проанализировав в аудиоспектре разницу с помощью электронных устройств и ПО. Ядерные испытания всегда производили гамма-лучи, рентгеновские лучи и нейтроны. Распространение радиоактивного газообразного ксенона, йода-131 и цезия-137 может быть обнаружено на разных континентах за много миль. Известной американской

спутниковой системой обнаружения ядерных объектов был проект VELA, состоявший из 12 военных спутников, оборудованных детекторами рентгеновского, нейтронного и гамма-излучения. Мониторинг основан на том, что взрыв испустит массивную вспышку рентгеновского излучения многократно с интервалом менее 1 микросекунды. С появлением глобальной системы позиционирования (GPS) спутники на околоземной орбите помогают лучше обнаруживать и фиксировать координаты сейсмической активности. Современные спутники оснащены видеокамерами, что позволяет фиксировать не только наземные возмущения фона (взрывы), но и проводить мониторинг более мелких объектов – одушевлённых и неодушевлённых. Недостатком метода спутникового обнаружения является то, что лучи испускают нейтроны и могут давать ложные сигналы датчикам, поэтому важна комплексная диагностика и наблюдение за фоном атмосферы в разных направлениях (с датчиками различного назначения).

В дополнение к сказанному гидроакустические станции в разных уголках мира созданы для наблюдения за деятельностью в Мировом океане. Вода относительно быстро переносит (не поглощает) звук, особенно инфразвук, и такой метод диагностики фона также признан эффективным. Совершенствуется «подводное оборудование» в части определения направления и силы инфразвуковой активности, а проблематика связана с неоднородной структурой морского дна и др. факторами.

И наконец, инфразвуковые волны. Их улавливают микробарометры, о которых будем говорить далее. Первые станции инфразвукового контроля позволяли обнаружить взрыв мощностью более 1 килотонны в тротиловом эквиваленте. Инфразвуковые волны могут проходить «сквозь» землю, отражаясь несколько раз, а в атмосфере они подвержены влиянию ветра и колебаний температуры. Источник инфразвуковых волн относительно удалённого источника трудно классифицировать по его природе (химический, водородный вариант от ядерного взрыва), однако его

факт зафиксировать вполне возможно. Международная система мониторинга (IMS), состоящая примерно из пяти сотен станций, использует разные типы датчиков. Для сбора данных и аналитического расчёта силы воздействия IMS использует системы обнаружения гидроакустических, инфразвуковых и сейсмических волн, а также пробоотборники воздуха для определения радионуклидов. С помощью системы идентифицировали ядерные испытания, проведённые Индией и Пакистаном в мае 1998 года, и позже испытания в стране «чучхе» даже с условно низкой мощностью 0,6 килотонны в 2006 году. Подробнее о системах обнаружения ядерного взрыва рассказано в [9].

Однако за всем этим исследователи не забывают и о перспективном воздействии колебаниями (волнами) инфразвуковой частоты. Звуки ультранизких частот (УНЧ) в стратосфере зафиксированы аэростатами специального назначения, длина каждого 7 метров. Так, исследователи из лаборатории Сандии на протяжении нескольких месяцев исследовали именно стратосферу, как область, находящуюся выше уровня полёта гражданских самолётов. Эта область представлена на рис. 1.

В начале эксперимента предполагалось, что в относительно спокойном с точки зрения естественной аудиоактивности слое атмосферы – стратосфере Земли чувствительным электронным оборудованием на аэростатах можно зафиксировать звуки, не достигающие поверхности Земли. Действительно, необычные источники звука были определены, а результаты исследования в 2023 году опубликованы. В перспективе предполагается наблюдать и классифицировать движение воздушных целей, вулканические извержения и иную сейсмическую активность с Земли, характеризую-

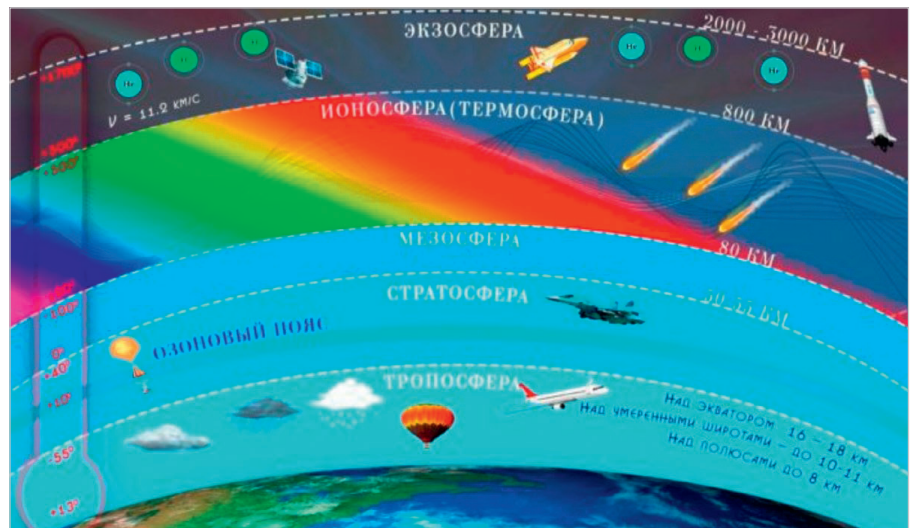


Рис. 1. Околосамолетные области атмосферы

щуюся распространением инфразвуковых волн, не слышимых человеку. Об этом подробно в [12].

Но особенно хорошо этот метод с эффектом направленности действует для зданий, поскольку находящиеся в них люди ощущают эффект, усиленный изолированным помещением с качественной акустикой, с резонирующим эффектом конструкции (стен) – так же, как камень громче «шумит» в пустом ведре. Конкурентная борьба за такие технологии и идёт в мире. Трубы, памятные из книг Библии, и связанная с ними история осады города Иерихон – лишь прообраз такого возможного психического и физического воздействия. Параболический отражатель Schallkanone (Ричард Валлаушек, 1944) использовался для воспламенения горючего вещества и кислорода и являлся прообразом современных направленных генераторов звуков инфразвуковой частоты. Современные разработки куда более смертоносны: когда электронная переносная система генерирует инфразвуковые «акустические пули», они могут деморализовать противника за сотни метров. Подробнее об этом в [3], [4].

### Система обнаружения сейсмической активности в атмосфере

Использование в качестве информационных и контрольных параметров электромагнитных и сигналов инфранизкой частоты (ИНЧ), получаемых из атмосферы после её возмущения, – перспективное направление развития инженерной мысли. В качестве датчиков используют инфразвуковые микрофоны, способствующие регистрации акустических сигналов в диапазоне частот 0,01...50 Гц и микробарометры, регистрирующие сигналы ИНЧ в диапазоне 0,02...4 Гц.

При анализе инфразвуковых сигналов, регистрируемых инфразвукометрическим комплексом, выявлено два типа инфразвуковых сигналов. Первый тип представляет одиночный импульс (рис. 2). Второй тип сигнала представляет собой серию импульсов или квазигармоническую последовательность (рис. 3). Наличие разных видов сигналов объяснимо тем, что длительность и форма инфразвукового сигнала зависит от силы, направленности и удалённости источника ИНЧ [3].

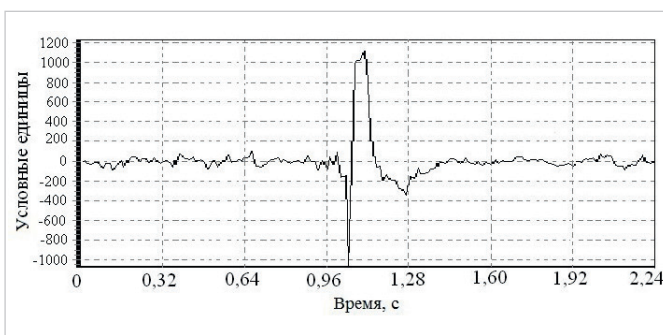


Рис. 2. Иллюстрация одиночного импульса инфразвукового сигнала

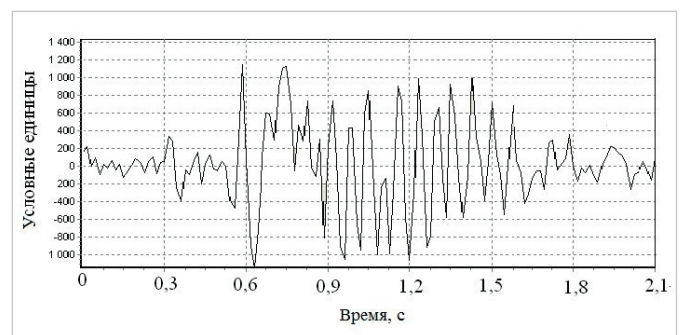


Рис. 3. Иллюстрация квазигармонической последовательности инфразвукового сигнала

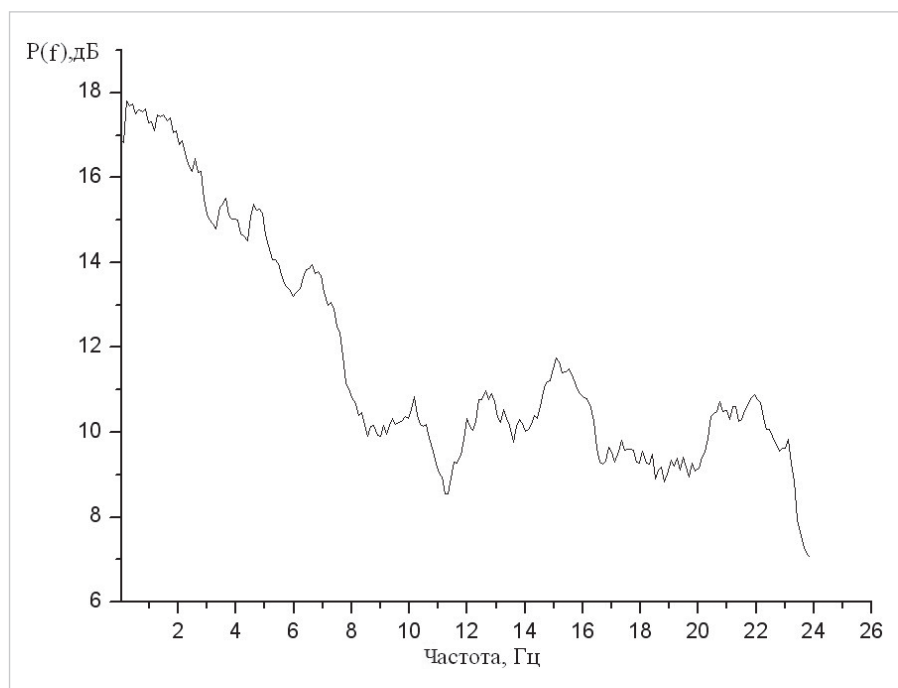


Рис. 4. Спектр относительной интенсивности сигнала ИНЧ

Спектр относительной интенсивности и уровень  $P(S)$  сигнала ИНЧ представлен на рис. 4.

По результатам исследований генерации сейсмических и электромагнитных волн на примере грозовых разрядов установлено, что в атмосфере акустические волны образуются в широком диапазоне звуковых и инфразвуковых частот. В спектре акустического поля наблюдаются два частотных максимума: один в диапазоне частот менее 20 Гц, наиболее часто наблюдается максимум на частотах 0,2...2 Гц и связан с разрядом внутри облака, второй – в диапазоне между 40...60 Гц, связанный с разрядом в землю [2].

Один из механизмов генерации инфразвуковой волны молниевым раз-

рядом предложен Десслером (1973) и получил развитие в работах Фью (1985). Начальная фаза инфразвуковой волны характеризуется фазой сжатия и уменьшением давления в начальной стадии сигнала. Исходя из этого, можно отличить инфразвуковые сигналы, источником которых являются грозовые разряды, от сигналов других источников [2].

С помощью инфразвукового комплекса, состоящего из трёх инфразвуковых датчиков, можно определить направление прихода акустической волны в плоскости земли (определение пеленга сигнала). Поэтому размещение микробарометров на местности и в устройстве типично осуществляют в форме треугольника. На рис. 5 пред-

ставлен внешний вид микробарометра отечественного производства.

Микробарометры – это чувствительные барометры, совмещённые с альтиметрами давления, могут измерять давление воздуха с условно высокой точностью. Микробарометры обычно имеют разрешение микробар (мкбар) или паскалей (Па), тогда как обычные барометры могут разрешать только в гектопаскалях (гПа) или миллибарах (мбар). Современные системы адаптированы для работы с ПК и удалёнными серверами, поэтому принятые показания немедленно записываются. Своевременное обнаружение на большом расстоянии инфразвуковой сигнатуры возмущения атмосферы, в том числе взрывного характера, после оперативного определения места и мощности взрыва поможет при оповещении людей об опасности и принятии защитных мер.

При корректной диагностике и обработке сигналов, зафиксированных микробарометрами (тремя и более), определяется диаграмма направленности возмущения атмосферы и/или поверхности земли – в зависимости от того, где установлено диагностическое оборудование. Пример такой диаграммы представлен на рис. 6. По оси ординат показано количество воздействий (пачки импульсов).

Используя комбинированную систему, состоящую из инфразвукового комплекса и электронного флюксметра (см. рис. 7), можно определить расстояние до источника инфразвука. Приведённый пример электронного флюксметра служит для иллюстрации измерения электростатического поля



Рис. 5. Внешний вид микробарометра

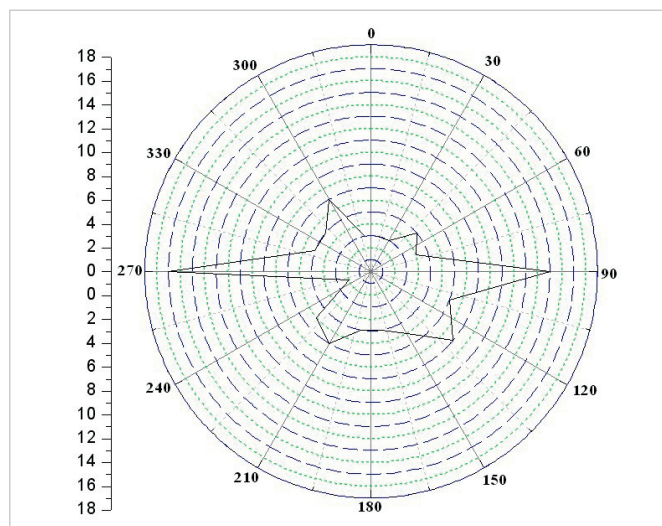


Рис. 6. Иллюстрация диаграммы направленности как результат определения импульсов ИНЧ

вблизи поверхности Земли. Электромагнитная система обнаружения сейсмической активности и грозовых разрядов подробно описана в [2].

Выводы делают при определении таких параметров, как скорость акустической волны ИНЧ, её направление – от источника и расстояния до инфразвукового события. На рис. 8 представлена структурная схема измерительно-вычислительного комплекса с использованием электрической антенны (ЭА).

На рис. 9 представлена иллюстрация временной задержки между электрическим импульсом возмущения атмосферы и импульсом ИНЧ.

Из этого следует, что за электрическим, электромагнитным или акустическим импульсом в атмосфере с небольшой задержкой следует импульс ИНЧ. Как сказано выше, инфразвуковые сигналы условно разделяют на представляющие одиночный импульс и множественный сигнал, представляющий серию импульсов. Спектральный пик регистрируемых инфразвуковых сигналов находится на частоте примерно 1 Гц на фоне общего повышения уровня шумов в конкретной ситуации. Из-за низкой частоты колебаний длина волны составляет несколько метров. В силу этой особенности обнаружение и регистрация инфразвука представляют определённые трудности. Устройства обнаружения (датчики) для работы на большой дистанции должны иметь значительные размеры. Только так корректно источник инфразвука может быть зафиксирован на расстоянии в несколько километров. Сложность также в том, что упругие механические колебания среды распространения смешиваются с механическими колебаниями не инфразвуко-



Рис. 7. Электронный флюксометр с открытой крышкой

вой природы. Так, датчики инфразвука требуют защиты от наводимых ветром помех и других возмущений от близкорасположенных объектов. Вот почему для корректного обнаружения, как правило, применяют комплексный диагностический центр, в составе которого и сейсмический, и акустические датчики [11].

### Варианты защиты РЭА в околокосмическом пространстве

Особое значение в условиях возможного несанкционированного воздействия импульсами, в том числе инфранизкой частоты, уделяют защите многофункциональной РЭА от ионизирующего излучения с помощью «экранов», корпусов из материалов, ослабляющих проникновение излучения, причём установлено, что экранирующее оборудование под воздействием «принятого» излучения может само являться источником вторичного излучения в виде нейтронов, гаммаквантов, протонов и других тяжёлых частиц [1]. Интересные статистические данные зафиксированы с помощью искусственных спутников Земли на околоземных орбитах. Данные

свидетельствуют об одиночных сбоях РЭА за определённый период времени, в частности, сбоях в работе интегральных микросхем динамической памяти [8]. Это связывают не только с радиационной активностью разных слоёв атмосферы, но и с воздействиями инфразвуком. Исследователи получили информацию в том числе с помощью электронной компонентной базы индийской навигационной спутниковой системы IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) и NAVIC (Navigation with Indian Constellation – навигация с использованием индийской системы спутников).

Цели и задачи таких систем нормативны, предметны и практичны: связаны с решением проблематики надёжности и функциональной устойчивости РЭА в околокосмическом пространстве, в том числе радиационной стойкости и невосприимчивости к инфразвуковым воздействиям. Уровень радиационной нагрузки на аппаратуру на различных орбитах, даже условия проникновения через защитные экраны, а также условия и предложения по дополнительной защите РЭА от воздействия ионизирующих излучений представлены в [8]. Так, для орби-

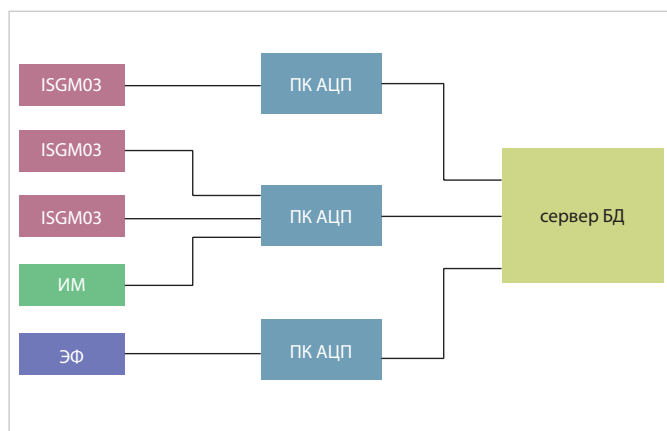


Рис. 8. Структурная схема измерительно-вычислительного комплекса

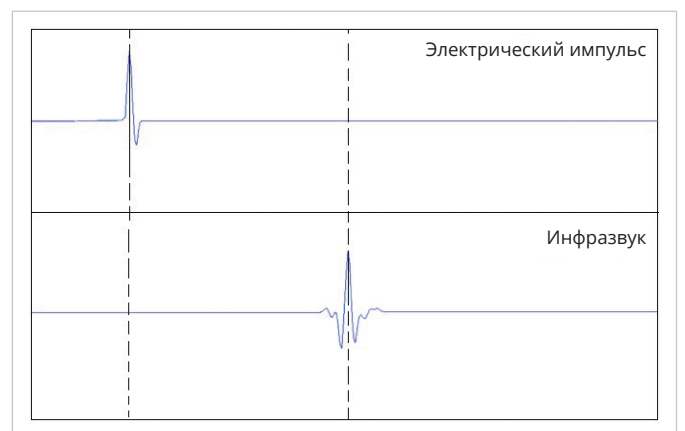


Рис. 9. Иллюстрация временной задержки между электрическим импульсом возмущения атмосферы и импульсом ИНЧ

ты высотой 1000...3000 км для обеспечения стойкости РЭА к воздействию ИИ уровня 10 крад дополнительная защита в 2-3 раза увеличивает массу аппаратуры, а для обеспечения стойкости оборудования к воздействию ИИ уровня 100 крад масса увеличивается примерно на 30%.

### Варианты применения сигналов ИНЧ на Земле

Актуальность вопроса прослеживается и в возможностях и результатах военного применения инфразвука. Тема сама по себе не секретная, важны детали, а за подробностями мы отсылаем заинтересованных лиц к публикациям в открытом доступе. Не секрет, что инфразвуковое оружие, результативная суть применения которого ориентирована как на личный состав (людей), так и на выведение из строя техники, разрабатывается давно, с середины XX века. Условно недорогое, но эффективное средство хотели бы для безопасности иметь многие. Доказано, что в зависимости от частоты генерации инфразвук создаёт для человека паническое состояние, может вызывать сумасшествие, страх, потерю контроля над обстоятельствами, ухудшение самочувствия и даже летальный исход [11]. Вопрос до конца не изучен, однако некоторые нюансы известны: инфра-оружие направленного действия может приводить к дестабилизации обстановки как на поле боя, так и в гражданской жизни, и полицейских функциях, к примеру, для разгона демонстраций. Неосознаваемый страх, непонимание причинно-следственной связи его возникновения имеет место при определённом воздействии инфразвука на человека. Предполагают, что даже после однократного воздействия у человека возникает стойкий иммунитет против совершения определённых действий.

### Влияние инфразвуковой волны на конструкции и состояние человека

Инфразвук представляет собой звуковые волны низкой частоты, не слышимые человеком. За верхний уровень частот инфразвука принято считать 16 Гц. Наименьший уровень диапазона 0,001 Гц. На практике интерес представляют колебания, имеющие десятую или сотую доли герца.

Кроме природных и техногенных воздействий источниками инфразвука могут быть:

- средства наземного, воздушного и водного транспорта;
- компрессоры, мощные вентиляционные системы и системы кондиционирования, создающие уровни звукового давления >100 дБ на частоте 20 Гц, 98 дБ на частоте 4 Гц, 85 дБ на частоте 2...8 Гц;
- пульсация давления в газообразных смесях;
- здания и сооружения;
- движение человека и животных;
- землетрясения, извержения вулканов, грозные разряды, шторм, ветер.

По временным характеристикам инфразвук подразделяется на постоянную и хаотичную параметрическую характеристику, определяемую тем, что уровень звукового давления изменяется за время наблюдения в 2 и более раз.

Источниками ИНЧ также являются грозные разряды, сейсмическая активность при землетрясениях. Инфразвуковые колебания слабо поглощаются в естественной среде и могут перемещаться на значительные расстояния по поверхности земли, воды и воздуха. Поэтому с помощью специальных датчиков удаётся определить расположение эпицентра землетрясения, мощного взрыва либо даже отдельного выстрела из артиллерийской установки. Инфразвук представляет собой физическое тело с колебательными (причём изменяемыми) движениями определённой частоты. Частота собственных колебаний снижается с увеличением размеров объекта, также инфразвуковые волны появляются при колебаниях или перемещениях объекта с условно большой скоростью. Это легло в основу определения скорости, направления и силы источника инфразвука. Генераторами незатухающих волн являются устройства, напоминающие мощные по воздействию «свистки». Если условная «труба» имеет один закрытый конец, длина волны соответствует 1/4 стоячей волны. К примеру, инфразвуковой «свисток», созданный французским учёным Гавро, имел наибольшую мощность 2 кВт и диаметр в 1,5 м. При испытаниях оборудования инфразвуковые волны приводили к появлению трещин на стенах на расстоянии в радиусе 500 м. Отсюда понятно, что инфразвуковые волны лучше проникают в помещения, чем звуковые. Действие волн ИНЧ объясняется резонансной природой [11]. В случае приближения частот колеба-

ний тела к частотам внешней инфразвуковой волны наблюдается эффект резонанса. Именно поэтому объясним физический эффект, когда в окнах вылетают стекла при взрыве даже на значительном расстоянии.

В условиях пересечённой местности, особенно в городских условиях компактной и относительно высотной застройки, инфразвуковые волны преломляются и отражаются, в том числе могут оказывать воздействие в обратном направлении. Получаемый резонанс можно регулировать электронными средствами для выполнения различных профильных задач. К примеру, если в XX веке при необходимости «выкурить» из помещения нежелательных лиц применяли шумовые, световые и газовые «методы» воздействия, то теперь к ним добавляется воздействие волнами инфразвуковой частоты, локально разрушающими психику. Причём источник воздействия нельзя определить без специального оборудования. Для обнаружения инфразвука рекомендованы устройства, основанные на принципе резонансного вибратора; упрощённо прообразы: струны, рупоры, трубы. Такие формы приняты за основу для совершенствования и создания на их основе электронных устройства из-за удобного к последующему усилению резонанса, возникающего при воздействии инфразвука. Из недостатков устройств относительно узкий диапазон обнаруживаемых ИНЧ, в том числе из-за узкой АХЧ, совпадающей с собственной резонансной частотой, и относительно большие размеры с диаметром в несколько метров ввиду необходимой кратности длинам обнаруживаемых волн. Преимуществом в данном случае является высокая чувствительность и КПД.

Вибрация относится к факторам высокой биологической активности. Выраженность ответных реакций обуславливается главным образом силой энергетического воздействия и биомеханическими свойствами человеческого тела как сложной колебательной системы. Это обосновано тем, что колебательные процессы присущи живому организму, они постоянно имеются. Поэтому внутренние органы человека рассматривают как колебательные системы с упругими связями.

В целом волны с частотой инфразвука оказывают неблагоприятное влияние на человека. При длительном

воздействии у людей появляется раздражение, головная боль и усталость. Физиологические свойства типичного homo sapiens таковы: если человек спокойно лежит, «рабочая» частота тела примерно 4 Гц, в стоячем положении составляет 5...12 Гц. Почти каждый жизненно важный орган имеет свою частоту колебаний, следовательно, воздействие на него посредством резонанса частот возможно, что в некоторых случаях приводит к тяжёлым последствиям для здоровья. Резонанс человеческого тела, отдельных его органов наступает под действием внешних сил при совпадении собственных частот колебаний внутренних органов с частотами внешних сил. Для брюшной полости частота колебаний составляет 3...4 Гц, для грудной клетки – в пределах 6...8 Гц. При возникновении резонанса человеку субъективно кажется, что внутренние органы начинают вибрировать. Причину явления видят в резонансном эффекте. При повышении частот колебаний более 0,7 Гц возможны чётко осознаваемые резонансные колебания. Область резонанса для головы в положении сидя при вертикальных вибрациях наблюдается в диапазоне 20...30 Гц, при горизонтальных – 1,5...2 Гц. Особое значение резонанс приобретает по отношению к органам зрения. Расстройство зрительных восприятий проявляется в частотном диапазоне 60...90 Гц, что соответствует резонансу глазных яблок. Для органов, расположенных в грудной клетке и брюшной полости, резонансными являются частоты 3...3,5 Гц. Для всего тела в положении сидя резонанс наступает на частотах 4...6 Гц.

Инfrasound определённой частоты способен вызвать расстройства мозга, привести к потере зрения и вызвать летальный исход. Поэтому в промышленности, транспорте и жилых домах принимаются разные меры, чтобы снизить воздействие на людей инфразвуковых колебаний – для их безопасности. По аналогичному принципу инфразвуковые волны воздействуют на неживые объекты. Известен реальный пример из истории, когда по каменному мосту, чеканя шаг, передвигался отряд солдат, и при этом возникли резонансные колебания, что привело к разрушению моста.

Тем не менее между ответными реакциями организма и уровнем воздействующей вибрации нет линейной зависимости. Мощность колеба-

Таблица 1. Сведения о влиянии импульсов НЧ и ИНЧ, вибрации на организм человека

Амплитуда колебаний, мм	Частота, Гц	Результат воздействия
< 0,015	Различная	Влияние не обнаружено
0,016–0,05	30–40	Нервное возбуждение, приводящее с накопительным эффектом к депрессии
0,051–0,1	15–20	Опасные, необратимые изменения в ЦНС, органах слуха, работе основных органов
0,101–0,3	50–150	Возможно заболевание
0,101–0,3	150–250	При накопительном эффекте возможно заболевание
0,101–0,3	Менее 1	Опасно потерей контроля над ситуацией

тельного процесса в зоне контакта и время контакта являются главными параметрами, определяющими развитие вибрационных патологий, структура которых зависит от частоты и амплитуды колебаний, продолжительности воздействия, места приложения и направления вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явлений резонанса и других условий. Среди людей, часто путешествующих в автомобильном транспорте и по железной дороге (особенно в последнем варианте), значительный процент страдающих в условной старости болезнями коленных суставов, артритами разного свойства, что связано с ритмичным воздействием на организм человека, в частности коленные суставы и связки, импульсов ИНЧ, создаваемых при движении транспорта. Причём эти недомогания возникают без всяких иных травм и «спортивной» активности. Вибрационная патология стоит на втором месте (после пылевых) среди профессиональных заболеваний. Частота заболеваний определяется дозой, а особенности клинических проявлений формируются под влиянием спектра вибраций. Выделяют три вида вибрационной патологии: от воздействия общей, локальной и толчкообразной вибраций. Кроме того, принято различать три формы вибрационной болезни: периферическую – возникающую от воздействия вибрации на руки (спазмы периферических сосудов, изменение цветовой окраски (малокровие) пальцев рук на холоде, ослабление подвижности и боль в руках в покое и ночное время, потеря чувствительности пальцев, гипертрофия мышц); церебральную – от преимущественного воздействия вибрации на организм человека (общемозговые сосудистые нарушения и поражение головного мозга); смешанную – при совместном воздействии общей и локальной вибрации.

В табл. 1 представлены сведения о влиянии импульсов НЧ и ИНЧ и вибрации на организм человека.

### Современные средства измерения инфразвука

На практике для обнаружения инфразвуковых волн используют в основном компактные датчики, преобразующие акустические колебания в электрические сигналы с их дальнейшим усилением и обработкой средствами электроники. Инфразвуковые колебания уместно измерить с помощью микрофона, чувствительного к звуковому давлению на НЧ и подключённого через полосовые фильтры к метрологической системе или АЦП с дальнейшим выводом аналитических данных на ПК. Естественные инфразвуковые колебания исследуют для уточнения природной «жизни» океанов, атмосферы, в том числе нахождения мест, где происходят или происходили взрывы, или извержения вулканов. Предсказывают цунами и контролируют проведение даже подземных ядерных и иных испытаний. Для регистрации инфразвуковых волн используют геофоны, гидрофоны или микрофоны. В электронике бытового назначения инфразвуковыми называются пассивные и активные датчики проникновения, регистрирующие изменение давления (возникновение низкочастотной звуковой волны) в помещении. Неравномерность АЧХ микрофона в области НЧ и ИНЧ влияет на возможность корректного измерения уровня инфразвука с использованием широкополосного фильтра. В переносных электронных системах контроля изменения инфразвукового фона используют конденсаторные микрофоны, у которых калибровочные поправки находятся в пределах: ±0,2 дБ (для частоты 16 Гц), ±0,3 дБ (для частоты 8 Гц), ±0,5 дБ (для частоты 4 Гц), ±1,0 дБ для частоты 2 Гц. С чувствительностью звукового давления



Рис. 10. Инфразвуковые датчики

10...50 мВ/Па. Они имеют номинальный частотный диапазон вплоть до нижней частоты 1...2 Гц. Об этом рассказано в [5].

Звуковые волны, возникающие в таких ситуациях, как, к примеру, хлопанье дверью с последующей вибрацией дверной коробки, распространяются с частотой ниже 2 Гц. Относительный «минус» применения в том, что поступление наружного воздуха в условно закрытое помещение (в связи с открытым окном или дверью) может вызвать ложные сигналы тревоги. Пассивные акустические датчики относятся к категории пассивных волнометрических датчиков. Типичный акустический датчик состоит из микрофона, усилителя и электронного блока обработки сигналов. Обработка сигналов – в фильтрации, подсчёте импульсов и (или) в интеграции импульсов и шумов. К примеру, устройство «Экофизика-110А» в максимальной комплектации способно измерять не только инфразвук, но и шум, вибрацию, и ультразвуковые волны, создаваемые даже воздушным потоком. Комплектуется следующими элементами: МИ ПКФ-14-012 (для измерения инфразвука в помещениях жилых и общественных зданий), МИ ПКФ-14-016 (инфразвук на рабочих местах в помещениях и на территории), МИ ПКФ-19-056 (инфразвук в условно контрольной точке). Либо нужно применять устройство типа «Экофизика-110А» (конфигурация HF-L) в комплекте с микрофоном и предусилителем, с дополнительными антеннами П6-7Х.

Ультранизкочастотные конденсаторные микрофоны свободного поля также подходят для высокочастотного инфразвука от 0,5 Гц и выше, к примеру, 40AZ, BSWA MP-201 и др. Так как ЭДС чувствительных элементов связана не с амплитудой движения чувствительной мембраны, а с ускорением её движения, то при инфразвуке (одно

колебание за несколько секунд) ЭДС в капсулях практически отсутствует, из-за чего инфразвук невозможно регистрировать микрофонами. В этой ситуации помогают специальные устройства – микробарометры. Но и у них есть ограничения. Инфразвук является упругими колебаниями среды распространения, представляющими чередующиеся зоны сжатия, периодическое изменение давления (с периодичностью 1 колебание в несколько секунд) по фронту распространения, поэтому импульсы инфразвука возможно зафиксировать микробарометрами. Условно «высокочастотный» инфразвук невозможно фиксировать микробарометрами из-за их реактивности (не успевают реагировать на относительно быстрые незначительные изменения звукового давления).

Компактные датчики инфразвука применяются в инфразвуковых станциях обнаружения и мониторинга за испытаниями вооружений различного свойства, в системах раннего оповещения о природных катаклизмах (бури, цунами), в шумомерах-анализаторах [4], [10]. Поэтому более удобно осуществлять прямое измерение акустических уровней и силы из воздействия в среде инфразвука с помощью комбинированного шумомера, оснащённого подходящим встроенным набором фильтров, анализатором спектра и чувствительным микрофоном. Так больше шансов установить различные виброакустические факторы. Кроме прочего, для измерения инфразвуковой вибрации отечественные разработчики ранее использовали шумомер ВШВ 003-М2 – для измерения и частотного анализа параметров шума и вибрации, шумо-вибро-интегратор ШВИЛ-01 – для измерений эквивалентных уровней непостоянного шума и локальной вибрации, вибромер ВВМ-201 – для измерения параметров вибрации, ШВИЛ-01ДМ – для измерения инфразвука, общей, транспортной, технологической и коммунальной вибрации, а также функциональные аналоги – виброметр М-1300, снабжённый фильтрами (Robotron) и шумомер 2231 (4322 фирма «Брюль и Кьер») [10]. Такие инфразвуковые датчики представлены на рис. 10.

По международным стандартам принято оценивать инфразвук только по степени воздействия на органы слуха. Например, частотная коррекция G (ISO 7196) обеспечивает максимум пропускания для частоты 20 Гц, в непосредственной близости к нижней октаве слышимого диапазона частот. Поэтому при выборе оте-

чественными разработчиками элементов РЭА для измерения инфразвука важно убедиться, что они могут контролировать параметры, предусмотренные российскими гигиеническими нормативами.

## Реальные примеры исследования с помощью инфразвука

Много привлекающих внимание слухов ходит о Коробовой яме в окрестностях Верховья, Вологодской области, к примеру, старожилы свидетельствуют: когда проезжали по дороге мимо Коробовой ямы (она отстоит от лесной дороги на 100 м), по неизвестной причине вышибало дуги в лошадиной упряжке. Название приводим местное, от старожил; значение происходит от речки Коробовая, протекающей рядом. На практике в 2023 году этой речкой оказался едва пробивающийся в лесу ручёк. Название его происходит от слова «корб», что на вепском языке обозначает «глухой лес». Альтернативное название «ямы» в виде аэропорта для НЛО – «Верховский кратер». Поговаривают, что именно сюда упал осколок метеорита, а также об иных «чудесах», исцелениях и аномальных явлениях, якобы связанных с местом. Не исключено, что кратер Коробовой ямы является «вершиной» природного газового источника. Разумеется, находясь по случаю в условно аномальном районе, корреспондент не мог не заинтересоваться неопознанным доселе явлением. Теперь мы не только знаем, где находится Коробовая яма, но даже исследовали её «вдоль и поперёк». Это относительно пологий кратер 16 м в глубину и 42 м – в диаметре. Её вид представлен на рис. 11.

Поляна, как видно из иллюстрации, настолько ровная и аккуратная, что невольно возникает мысль о посадке в этом месте некоего НЛО. Поразили не столько просторы и красота окружающей кратер природы, но и то, что на месте, как бы геологи и исследователи ни «ломали копыя», озадачившись вопросом: здесь ли происходят аномальные явления в Верховажском районе Вологодской области, испытываешь благоговейный трепет. Постояв в эпицентре «кратера» в течение 15 минут, человек ощущает необъяснимую тревогу и головную боль. Кроме того, по основаниям тревожности вполне уместно допустить наличие импульсов инфранизкой частоты. По координатам 60,6522 с. ш., 41,84993 в. д. представлено это место вблизи н. п. Боровичиха, очередной базы исследований, о которых рассказано в [6].



Рис. 11. Аномальный кратер Коробовой ямы



Рис. 12. Приборы учёта и контроля для исследования кратера Коробовой ямы в 2023 году

Однако с помощью приборов сейсмической активности, инфразвуковых тестеров, а также датчиков, фиксирующих СВЧ-излучение и радиационную обстановку, удалось выяснить, что по состоянию на май 2023 года никаких отклонений, включая радиационную составляющую, в кратере не обнаружено, несмотря на различные мнения и результаты ранее проведённых исследований. Возможно, в аномальном месте необходимо более детальное обследование с помощью приборов профессионального класса. Однако кроме прочих исследователей и мы застолбили право ими заниматься в том числе с помощью виброметров и волюмометрических датчиков. На рис. 12 представлен вид разных приборов контроля.

Особенность измерений инфразвука на местах ещё и в том, что до проведения измерений исследователь лишь предполагает инфразвук по наличию возможного источника. В движущемся с высокой скоростью автомобиле или поезде человек подвержен воздействию инфразвука. Однако если источник или характер функционирования ИНЧ непостоянен или неизвестен (типичная ситуация в приведённом выше примере с Коробовой ямой) – определение периодов воздействия инфразвука усложняется.

## Выводы

Комбинированная система обнаружения возмущения атмосферы с использованием инфразвукометрического комплекса перспективна для определения угроз сейсмического и в целом техногенного характера. Совершенствование исследований и разработок в области фиксации импульсов ИНЧ в атмосфере и на земле позволит не только контролировать их, но и выработать защиту от инфразвуково-

го оружия, разработки которого с разным успехом ведутся в разных странах. Как и любое направление в науке и технике, результаты совершенствования устройств и приборов, работающих с инфразвуком, – как мирный и немирный атом – люди станут использовать по-разному. Мы показали, что метод контроля с помощью определения импульсов ИНЧ может быть перспективен как в атмосфере, так и на земле, и привести к неожиданным результатам там, где другие приборы контроля аномалии не определяют, а человек при этом чувствует недомогание. Мы показали, что при определённой частоте, связанной с электрическим резонансом, импульсами ИНЧ можно воздействовать на человека, его гармоничное состояние и активность, что может быть также для него опасно. Предупреждённый – защищён. Очевидно, что существует и много положительных перспектив. Польза воздействия инфразвуковыми волнами признана современной медицинской практикой, в частности для удаления опухолей при лечении рака, болезней рогаковицы (электронный инфразвуковой фонофорез) и др. случаях по медицинским показаниям. При этом человеческое ухо не воспринимает инфразвук, что не делает его менее опасным. Поэтому гигиенические нормативы допустимого уровня инфразвука установлены как для рабочих мест, так и для мест проживания (в быту).

## Литература

1. Безродных И.П., Тютнев А.П., Семенов В.П. Радиационные эффекты в космосе. М.: ОАО «Корпорация ВНИИЭМ», 2014. 106 с.
2. Вознесенская К.В. и др. Электромагнитная акустическая система обнаружения грозовых разрядов // URL: <https://cyberleninka.ru/>

article/n/elektromagnitnaya-akusticheskaya-sistema-obnaruzheniya-grozyvyh-razryadov.

3. Инфразвук. Особенности и влияние // URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrotehnika/infrazvuk/>.
4. Инфразвуковые датчики // URL: <https://shamrin.ru/infrazvukovoy-datchik-printsip-raboty/>.
5. Кашкаров А.П. 500 схем для радиолюбителей. Электронные датчики. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Наука и Техника, 2007. 208 с.
6. Кашкаров А.П. Автономное электроснабжение частного дома своими руками. ВикиЧтение // URL: <https://hobby.wikireading.ru/17927>.
7. Коробко В.И. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для бакалавров. М.: АНО ВО «Институт непрерывного образования», 2016. 347 с.
8. Кравчук С.В., Соколов В.Н. и др. Ионизирующее излучение космического пространства и конструирование радиационно-стойких приборов для систем управления космическими аппаратами. Ч. 1 // Современная электроника. 2023. № 5. С. 35. URL: <https://www.soel.ru/online/ioniziruyushchee-izluchenie-kosmicheskogo-prostranstva-i-konstruirovanie-radiatsionno-stoykikh-pribo/>.
9. Система обнаружения ядерного взрыва // URL: [https://dev.abcdef.wiki/wiki/Nuclear\\_detonation\\_detection\\_system](https://dev.abcdef.wiki/wiki/Nuclear_detonation_detection_system).
10. Средства измерения инфразвука // URL: [https://hygiene.octava.info/sredstva\\_izmereniya\\_infrazvuka](https://hygiene.octava.info/sredstva_izmereniya_infrazvuka).
11. Kase P.G. The radiation environments of outerplanet mission // IEEE Trans. 2022. Vol. NS-19, № 6. P. 141–146.
12. Science XXI. Необычные низкочастотные сигналы из стратосферы зафиксированы аэростатами // URL: [https://sciencexxi.com/neobychnye-nizkochastotnye-signalny-iz-stratosfery-zafiksirovany-aerostatami/?utm\\_source=uxnews&utm\\_medium=desktop](https://sciencexxi.com/neobychnye-nizkochastotnye-signalny-iz-stratosfery-zafiksirovany-aerostatami/?utm_source=uxnews&utm_medium=desktop).