

## Название проекта :

Георадиолокатор для контроля и диагностики состояния подземных природных и техногенных объектов.

## Аннотация проекта

Целью проекта является повышение поисково-разведочных характеристик георадиолокатора при обнаружении предметов под землёй, водой, различными строительными конструкциями.

Методы георадиолокации основаны на анализе реакции исследуемой среды и объекта на сверхширокополосное электромагнитное излучение. Используемый спектр включает частоты до сотен мегагерц, поэтому его воздействие вызывает возбуждение практически всех возможных типов собственных колебаний объекта или среды. Это существенно повышает информативность радиолокационной диагностики и контроля нарушений в природных и техногенных средах.

Сверхширокополосные радиолокаторы предназначены для:

1. обнаружения металлических и неметаллических объектов под землёй, водой, строительными конструкциями;
2. отыскания трубопроводов, кабелей, продуктопроводов;
3. контроля качества строй материалов и конструкций.
4. контроля качества покрытия взлётно-посадочных полос, автомобильных дорог, обнаружения пустот, промоин под различными покрытиями и железнодорожным полотном;
5. обнаружение площадей и локализация мест утечек из труб воды, нефти, и нефтепродуктов, промышленных стоков, и ядовитых отходов;
6. определение глубины и уровня грунтовых вод, а также глубины промерзания водоёмов и грунтов;
7. проведение геофизических изысканий, определение местоположения подземных коммуникаций;
8. проведение поисковых работ при чрезвычайных ситуациях;
9. обнаружение диэлектрических мин, могут быть использованы при археологических работах, и при таможенном досмотре;

Во многих практических задачах методы георадиолокации являются либо единственно возможными средствами достижения цели, либо оказываются более эффективными по сравнению с другими методами решения перечисленных задач. Так известные системы локации, основанные на акустических волнах, не позволяют обнаруживать предметы и неоднородности, размер которых не превышает нескольких метров.

В настоящее время только несколько фирм Великобритании, США и Канады разрабатывают и эксплуатируют радиолокаторы под поверхностного зондирования. Лидирующее и практически монопольное положение в мире занимает американская фирма..... По информации на 1996г. стоимость георадиолокаторов этой фирмы составляет от 40 до 80 тыс. долларов в зависимости от комплектности. Стоимость услуг подповерхностной радиолокации различных сред составляет до 2000 \$ в день. Такие услуги для потребителей оказываются экономически более выгодными, чем затраты на проведение вскрышных, буровых и прочих работ. В странах СНГ разработка и производство подповерхностных радиолокаторов были организованы в Латвии (г. Рига). Приборы типов ТЧМ-71(72), Георун-Д(М) и им подобные предназначены в

основном для определения толщины льда и состояния снежных и ледовых покрытий, значительно уступают по характеристикам аппаратуре американского производства. Разработанный к настоящему времени СФТИ и ТУСУР георадиолокатор имеет специальное назначение. В данном проекте планируется создать на основе имеющегося георадиолокатора гражданского назначения, предназначенный для построения изображения подповерхностного пространства различных сред с целью обнаружения подповерхностных естественных и искусственных объектов. Повышение эффективности создаваемой системы диагностики и контроля по сравнению с известными аналогами достигается за счет использования моделей связи между пространственно-временной структурой сигналов с радиофизическими свойствами подповерхностной среды и объектов их размерами, пространственным положением. Развитие такого подхода, определяющего новизну проекта, позволит решать методами подповерхностной радиолокации не только традиционные задачи (определение толщины, состояния и свойств протяженных объектов в различных средах), но и новые задачи, связанные с обнаружением и идентификацией предметов, (в том числе и малоразмерных и малоконтрастных объектов) в различных средах при прогнозировании и контроле чрезвычайных ситуаций. Алгоритмы обработки сигналов сверхширокополосных георадиолокаторов, основанные на инвариантности их информационных признаков, позволяют в реальном масштабе времени решить задачу обнаружения и селекции малоконтрастных подповерхностных объектов.

Электромагнитный отклик зондируемой среды связан с несколькими физическими эффектами: отражением, рассеянием, преломлением и поглощением сверхширокополосного излучения, а также с изменением фазовой скорости его распространения. Характеристики электромагнитного отклика – амплитуда, длительность и форма принятого сверхширокополосного сигнала являются результатом комбинированного воздействия указанных эффектов. Кроме того, на формирование перечисленных характеристик существенное влияние оказывают изменения условий зондирования: нестабильность характеристик приемного и передающего тракта геолокатора, пространственная нестабильность его поискового элемента при сканировании над подстилающей средой, существенная пространственная изменчивость электрических характеристик зондируемой среды и т.п. Наличие значительного числа неконтролируемых факторов существенно затрудняет выявление сигналов, обусловленных объектами разведки. Для успешного решения задачи обнаружения и селекции необходимо иметь инвариантные признаки (параметры) сигналов от разведываемых объектов и знать условия в которых их инвариантность параметров будет сохраняться.

Ряд факторов, ограничивающих функциональные возможности разработанных георадиолокаторов, изучен недостаточно. К таким факторам относятся:

- влияние электрофизических характеристик подстилающей среды на уровень «просачивающегося» сигнала;
- влияние диаграмм направленности излучающей и приемной антенн на точностные характеристики СШП геолокатора;
- влияние электрофизических характеристик различного типа подстилающих сред на параметры, используемые в разработанных алгоритмах обработки сигналов для принятия решения об отнесении объекта по совокупности информационных признаков к заданному классу объектов и сред.

#### **Предлагаемая разработка**

Направление дальнейших исследований должны будут связаны с комплексным (теоретическим и экспериментальным) изучением влияния указанных факторов на

характеристики георадиолокатора, как средства инженерной разведки подповерхностных объектов и сред.

Разработанные алгоритмы обработки данных при успешном решении указанных проблем обеспечат высокую эффективность инженерной разведки подповерхностных объектов и сред георадиолокатором, как на этапе обнаружения, так и на этапе селекции. Ожидается, что разрабатываемая система диагностики и контроля подповерхностных сред и объектов позволит улучшить пространственно-временное разрешение и обнаруживать и идентифицировать малоконтрастные объекты размером (7-15) см на глубинах до (2-5)м и размером 15-30 см на глубинах до 5-30 м. Реализация данного проекта позволит внедрить в различные производства новые отечественные технологии и технику поиково-разведочных работ, дистанционного подповерхностного контроля нарушений природных, техногенных сред и объектов для обеспечения эффективности и безопасности производственной деятельности. При реализации данного проекта могут быть разработаны новые средства разведки мин, средства контроля качества заполнения закрепного пространства в вертикальных и горизонтальных горных выработках, контроль качества монолитной бетонной крепи, картирование и инвентаризация подземных коммуникаций с привязкой к карте городской и иной территории; мониторинг состояния подповерхностной среды, в которой находятся подземные коммуникации и другие объекты, в частности, диагностика и контроль подтопления и динамики уровней грунтовых вод (повышение уровня грунтовых вод является проблемой всех городов), диагностика и контроль дорожных и аэродромных покрытий. Диагностика и контроль растекания ядовитых, загрязняющих отходов, нефтепродуктов и т.п.

Экономическое значение работы при реализации ее на территории Томской области состоит в том, что данный аппаратно-программный комплекс георадиолокатора найдет свое место при использовании эффективных, ресурсосберегающих технологий. Он обеспечивает низкие эксплуатационные затраты, возможность применения в двойных технологиях.

Значение данной разработки для проекта в целом будет заключаться в реализации нового научно-технического подхода к решениям крупных задач на прорывных направлениях.

Инвестиционное значение работы для Томской области заключается в том, что выполнение данного проекта позволит привлечь средства соседних областей и краев, так как разработка и создание системы на основе метода сверхширокополосного зондирования открывающие новые возможности в дистанционной диагностике структуры подповерхностных сред, а также в исследованиях процессов механики подземных сооружений, проектировании и строительстве объектов угольной промышленности с учетом реальных условий работы конструкций. Эти системы позволят выявить новые возможности экономии материалов при одновременном улучшении эксплуатационных качеств сооружений.

Так, например, для угледобывающих районов Кемеровской области применение георадиолокатора позволит сократить расходы на:

1. мониторинг всрышного слоя и структуры пластов при добыче угля открытым способом (с поверхности);
2. передовое зондирование с поверхности по трассе проходки тоннелей с заложением на глубину 25-60 м для определения слоев горных пород и включений в виде крупных галечников, залегания пльвунов, а также не указанных объектов бывшего строительства;

3. зондирование при изготовлении искро- и взрывобезопасной аппаратуры из горных выработок угольных шахт для определения:
- областей разрушенных пород вокруг выработок в результате проведения буровзрывных работ и проявления горного давления;
  - контроль качества заполнения закрепного пространства в вертикальных стволах и горизонтальных горных выработках;
  - контроль качества монолитной бетонной крепи;
  - контроль качества формирования зон водоподавления и упрочнения вокруг горных выработок, в том числе с применением методов цементации и замораживания.

Про оценке рынков сбыта, разработанных аппаратно-программных средств сверхширокополосной георадиолокации, кроме угледобывающей промышленности, учитывая потребность предлагаемых систем диагностики и контроля, практически в любой отрасли народного хозяйства и, особенно в городском коммунальном хозяйстве. Учитывается и тот факт, что отечественные потребители таких систем в эксплуатации не имеют.

Организации строительства и эксплуатации зданий, сооружений и коммуникаций получают дополнительные возможности к основным:

- инженерные изыскания грунтов (структура массива, прочность грунтов) для более обоснованного выбора оснований и фундаментов, а также для обнаружения на глубине препятствий (не отмеченных на плане фундаментов старых зданий, крупных валунов, колодцев, пустот и т.п.); глубина зондирования для решения указанных задач не превышает 15-30 м, а зондирование производится с поверхности и каких-либо специальных требований к аппаратуре не предъявляется;
- картирование и инвентаризация подземных коммуникаций с привязкой к карте городской или иной территории;
- мониторинг состояния подповерхностной среды, в которой находятся подземные коммуникации и другие объекты, в частности, диагностика и контроль подтопления и динамики уровней грунтовых вод (повышение уровня грунтовых вод является проблемой всех городов);
- контроль качества бетонных и железобетонных конструкций, в частности, глубины залегания и размерности дефектов фундаментов, колонн, балок и т.п.

Экология и чрезвычайные ситуации:

- диагностика и контроль растекания ядовитых, загрязняющих отходов, нефтепродуктов и т.п.;
- обнаружение людей в завалах, вызванных землетрясениями, снежными лавинами, селями, оползнями и другими стихийными бедствиями;
- поиск взрывоопасных изделий, скрытых в подповерхностных средах;
- контроль однородности сред и объектов.

Речное судоходство:

- определение оптимального пути (фарватера) движения судов;
- диагностика зон распределения затопленного леса и других объектов.

Сельское хозяйство:

- мониторинг зон подтопления сельскохозяйственных угодий;
- диагностика и картирование зон засоленности почв.

## Наличие задела

К настоящему времени нами накоплен достаточный опыт и теоретический и практический задел по созданию, как отдельных функциональных узлов, так и приемопередающих устройств георадиолокаторов. Исследованы принципы построения

антенн, генераторов видеоимпульсов, апробированы схемы приема и обработки отраженных сигналов. Проведены предварительные исследования ограничителей СВЧ мощности, выполненных на основе современных быстродействующих диодов с барьеров Шоттки. Разработаны и реализованы варианты логарифмических усилителей, устройств цифровой обработки.

Разработанный сотрудниками ТУСУР и СФТИ макетный вариант системы включает в себя двухканальную антенну, двухканальный стробоскопический приемник, синхронизатор и микропроцессорный блок обработки данных. Микропроцессорный блок обеспечивает контроль и диагностику, задание режимов работы приемника и передатчика, ввод данных с выхода приемника и их предварительную обработку, накопление, а затем передачу данных в компьютер по последовательному каналу связи.

Разработанный пакет прикладных программ включает данные исследований электродинамических характеристик природных и техногенных сред и их компонентов в широком частотном диапазоне электромагнитных излучений (от 0 до 10 ГГц). Для описания концентрационных и температурных зависимостей диэлектрических параметров и электрической проводимости использован математический аппарат теории протекания. Используются современные алгоритмы решения электродинамических и тепло-влажностных задач применительно к проблемам исследования электрофизических и структурных параметров полупроводящих веществ, составляющих подповерхностные среды и объекты контроля.

Банк данных включает фактический материал исследований электродинамических характеристик почвогрунтов, горных пород, строительных материалов и изделий.

## Основные технические параметры, разработанного сотрудниками варианта системы.

Основными функциональными узлами подповерхностного радиолокатора (геолокатора) являются антенны, генераторы мощных видеоимпульсов, блоки управления параметрами излучаемых импульсов, сверхширокополосные управляемые аттенюаторы, ограничители мощности СВЧ излучения, логарифмические усилители с широким динамическим диапазоном входных импульсных сигналов, стробоскопические преобразователи, устройства цифровой обработки данных зондирования, интерфейсы, микроЭВМ с периферийными устройствами отображения информации. Большинство названных узлов являются оригинальными. Разработанные и новые технические и конструктивные решения системы диагностики и контроля позволяют получить ниже приведенные достигнутые характеристики и создать функционально и конструктивно законченное антенно-приемное устройство с улучшенными техническими и конструктивными параметрами.

Макетный вариант разработанной системы включает в себя двухканальную антенну, двухканальный стробоскопический приемник, имеющий следующие технические параметры и массогабаритные показатели:

→ чувствительность по входу	50 мкВ
→ диапазон регулировки коэффициента передачи аттенюатора	66 дБ
→ шаг регулировки	6 дБ
→ потери открытого канала	(1,5-3) дБ
→ коэффициент усиления усилителей	60 дБ
→ габариты	250x140x25 мм
→ масса	1000 г
→ энергопотребление	U=+12 В

$$I = 0,5 \text{ A}$$

Передатчик (формирователь наносекундных видеоимпульсов), который имеет следующие технические и конструктивные параметры:

→ длительность переднего фронта импульса	0,6 нс
→ амплитуда импульса на выходе антенны	150-500 В
→ габариты	140x150x25 мм
→ масса	430 г
→ энергопотребление	U=+12 В I= 0,2 А

Микропроцессорный блок обеспечивает обработку сигналов с выхода приемника, задание режимов работы приемника и передатчика, а также контроль их функционирования. Основные параметры блока:

→ тип сигнального процессора	ADSP-2181
→ тактовая частота микропроцессора	33 МГц
→ оперативная память	256 кБайт
→ число аналоговых входов	2
→ быстродействие АЦП	3,5 мкс
→ габариты	100x100x25 мм
→ масса	300 г
→ энергопотребление	U=+12 В I= 0,5 А

Идентичные приемная и передающая антенны, имеющие следующие характеристики:

→ полоса воспроизводимых частот по уровню 3 дБ	от 250 до 2000 МГц
→ уровень развязки между каналами, не хуже	20 дБ
→ уровень заднего лепестка, не хуже	25 дБ
→ габариты	360x360x100 мм
→ масса	2,5 кг

Государственный интерес и интерес научных и производственных структур Томской области представляет организация и развитие отечественного и местного производства многоцелевых радиоволновых средств диагностики и контроля подповерхностных сред.

Имеющийся интеллектуальный задел исполнителей.

Создание высокоинформативных средств подповерхностного контроля и диагностики и эффективного их использования связано с решением двух основных проблем:

1. Разработка физико-математических моделей подповерхностных сред, алгоритмов обработки сигналов радиоканала, пакета прикладных программ для расчета и прогнозирования динамики объемного распределения электродинамических параметров и идентификацией сред и объектов при воздействии внешних факторов. Применение данных моделей позволяет существенно повысить точность первичной обработки информации в радиолокационных системах подповерхностного зондирования и контроля.
2. Создание технических средств подповерхностной сверхширокополосной радиолокации и оптимальных алгоритмов функционирования.

Решение этих проблем связано с проработкой комплекса научно-технических и конструкторско-технологических вопросов, относящихся к области нано- и пикосекундной электроники. К настоящему времени нами накоплен достаточный опыт и теоретический и практический задел по созданию высоковольтных генераторов нано- и пикосекундных импульсов. Такие генераторы имеют малые габариты, что позволяет их встраивать непосредственно в антенны. Активным элементом генератора является лавинный S-диод или другой полупроводниковый прибор. Исследованы принципы построения антенн, апробированы схемы управления амплитудой отраженных сигналов. Проведены исследования ограничителей СВЧ мощности, выполненных на основе современных быстродействующих диодов с барьером Шоттки. Разработаны и реализованы варианты логарифмических усилителей на транзисторах с затвором Шоттки. Кроме названных узлов имеется задел по стробоскопическим преобразователям, алгоритмам и устройствам цифровой обработки информации, интерфейсам и другим устройствам.

Коллективом, представляющим данный проект, накоплен большой опыт в исследовании электрофизических характеристик подповерхностных сред и их компонентов в широком частотном диапазоне электромагнитных излучений (от 0 Гц до 10 ГГц). Впервые для описания концентрационных и температурных зависимостей диэлектрических параметров и электрической проводимости использован математический аппарат теории протекания и доказана правомерность его использования для широкого класса подповерхностных сред. Разработаны современные алгоритмы решения электродинамических и тепловлажностных задач применительно к проблемам исследования электрофизических и структурных параметров полупроводящих веществ, составляющих подповерхностные среды и объекты контроля. Созданы уникальные измерительные установки и методики экспериментального исследования в широком частотном диапазоне электродинамических характеристик полупроводящих веществ при воздействии температурных полей.

Накоплен большой фактический материал исследований электродинамических характеристик почвогрунтов, строительных материалов и изделий. Имеется большой теоретический и научный задел по сверхширокополосным системам подповерхностной радиолокации.