|  |
| --- |
| **КРАТКИЙ ИТОГОВЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ ПО ПРОЕКТУ РФФИ № 10-07-00387-А** |
| **Название проекта**: Разработка и проведение теоретических и экспериментальных исследований геоинформационной технологии оценивания экологического риска от карьерных взрывов с использованием cейсмоакустических колебаний сейсмических вибраторов |
| |  | | --- | | **Руководитель проекта**: Хайретдинов Марат Саматович | | **Аннотация:**  Авторами проекта предложен и реализован оригинальный экологически безопасный подход к оцениванию геоэкологического риска для окружающей социальной инфраструктуры воздействия массовых мощных полигонных и карьерных взрывов, основанный на применении сейсмических вибраторов в качестве источников, имитирующих взрывы, но обладающих в сравнении ними намного меньшей мощностью. Такие источники обладают способностью возбуждать в среде одновременно сейсмические и акустические колебания (вибросейсмоакустические колебания) с прецизионными метрологическими силовыми и частотно-временными характеристиками, что гарантирует, в отличие от взрывов, высокую воспроизводимость результатов исследований. В первую очередь, это касается изучения закономерностей распространения акустических волновых полей в зависимости от метеоусловий, а также учета влияния ландшафта и неоднородности дневной поверхности земли, неоднородности атмосферы. При этом сравнимые со взрывами результаты достигаются за счет энергетического накопления слабых вибросейсмоакустических сигналов. На основе применения предложенного подхода выполнены теоретические и экспериментальные исследования.  **В части теоретической**:  1. Разработаны алгоритмы и создан программный инструментарий для многопроцессорной супер-ЭВМ и на их основе выполнено численное моделирование, определяющее условия возникновения и дальнего распространения пары связанных колебаний - сейсмических и акустических - на границе «Земля-Атмосфера». Основные выводы состоят в том, что при распространении акустической волны над «жестким» полупространством (с высокими значениями скоростей продольных и поперечных волн относительно скорости звука) индуцируется поверхностная волна, распространяющаяся со скоростью звука в воздухе.  Проведены численные расчеты по оцениванию эффектов направленности акустического волнового поля инфранизкочастотных источников, возникающих в движущейся среде, т.е. на фоне ветра, характеризуемого направлением и скоростью. В качестве модели рассматривается точечный источник инфразвука, расположенный на высоте h над поверхностью Земли. При этом поверхность Земли считется плоской, а атмосфера слоисто неоднородной. На инфранизких частотах справедливо лучевое приближение распространения звука, а изменение интенсивности его подчиняется предположению о геометрической расходимости лучей. Эффект направленности акустического поля характеризуется фактором фокусировки, равным отношению интенсивности инфразвука в неоднородной движущейся среде к интенсивности его в безграничной неподвижной среде.  Получены зависимости фактора фокусировки в диапазоне азимутов точки наблюдения 0-360 град. в зависимости от расстояния «источник-приемник», параметров исходного излучения. Разработано и практически реализовано программное обеспечение, позволяющее обрабатывать сейсмоакустические колебания от вибрационных источников и взрывов, измерять спектральные, временные и энергетические характеристики акустических волн и др. в зависимости от перечисленных выше внешних факторов.  **В части экспериментальной**:  2. С учетом достигнутых результатов работы по проекту авторы выделяют в качестве одного из важнейших достижений разработанную и реализованную методику проведения полевых работ, позволяющую соединить результаты экспериментов и численных расчетов, характеризующих эффект фокусировки акустического излучения в пространстве и оценивание энергетических характеристик волн с учетом этого фактора. Методикой предусматривается одновременная регистрация сейсмических и акустических волн от низкочастотного источника на различных азимутальных направлениях в пределах 0-360 град. с шагом 30 град. относительно центра, где располагается либо вибратор ЦВ-40, либо взрыв. Основная схема регистрации предусматривает равномерную круговую расстановку датчиков по окружности. В проведенных экспериментах радиусы окружностей составляли 6, 10, 12 км. Основная направленность работ с применением созданной методики состоит в прогнозировании геоэкологического воздействия массовых карьерных и полигонных взрывов на окружающую социальную инфраструктуру. При заданных энергетических параметрах взрывов проявления рассматриваемых воздействий, в основном, в виде ударных акустических волн, увязываются с метеоусловиями (направлением и силой ветра по отношению к фронту распространения акустической волны, температурной инверсией), а также с влиянием ландшафта и неоднородности дневной поверхности земли, неоднородности атмосферы.  3. С применением разработанной методики выполнены эксперименты в период 2010-2012 г.г. по регистрации сейсмоакустических сигналов от вибратора, короткозамедленных карьерных взрывов Кузбасса (карьер «Виноградовский»), а также полигонных взрывов утилизируемых запасов боеприпасов (полигон Шилово). Один из важных результатов проведенных работ состоит в том, что получены количественные характеристики эффекта фокусировки акустических полей в области инфранизких частот под влиянием метеоусловий. В частности, показано, что в диапазоне скоростей ветра 1-6 м/с ширина диаграммы направленности (ДН) акустического поля на уровне 0.7 от максимального значения лежит в пределах 60-140 град., при этом для круговых расстановок с радиусами 6, 10, 12 км значения ширины ДН принимают последовательные значения 60, 80, 140 град. соответственно. Данные экспериментов показывают, что в результате такой пространственной селекции в распределении уровней акустического поля соотношение максимального и минимального уровней акустических волн может достигать 50 . Очевидно, соответствующее этому перераспределение потока энергии по пространству приведет к тому, что даже маломощные взрывы могут становится экологически опасными вследствие многократного увеличения потока энергии в заданном направлении. Это подтверждается распределением оценок удельной плотности акустической энергии по пространству в зависимости от метеофакторов, полученным от полигонных взрывов.  4. Экспериментально зарегистрированное и численно подтвержденное ветровое усиление акустических волн влечет за собой возрастание уровней поверхностных сейсмических волн, поскольку последние, как показано теоретически, являются результатом сейсмичности, наведенной акустическими волнами. По такой схеме взаимодействия волн может развиваться многократноусиленный геоэкологический эффект сейсмоакустического воздействия на окружающую среду.  5. С точки зрения оптимизации выбора типа сейсмических датчиков для регистрации акустических волн экспериментально было доказано , что датчики угловых перемещений, например типа Metr-157 наиболее чувствительны по сравнению с датчиками линейных перемещений к поверхностным сейсмоакустическим волнам с эллиптической поляризацией, но в тоже время они уступают последним по чувствительности к продольным сейсмическим волнам.  6. Сформирована база записей вибросейсмоакустических сигналов, короткозамедленных взрывов Кузбасса, полигонных взрывов боеприпасов. Созданная база включает в себя записи взрывов, сделанных одновременно в ближней (до сотен метров) и дальней зонах (до 10-12 км) от источника. При этом регистрировались как сейсмические, так и акустические волны, примеры записи которых приведены в отчете. Выполнен частотно-временной анализ полученных записей с целью изучения картины распределения энергии колебаний по частоте и во времени. | |