

Разрушающие факторы динамического воздействия источников сейсмических колебаний на здания и сооружения

Смирнов В.П., "Геотехноцентр" филиал ОАО "Енисейгеофизика", г. Минусинск



Необходимость оценки поведения грунтов и размещенных в них коммуникаций, фундаментов зданий и сооружений и т.д. может возникнуть по ряду причин:

- при изучении или прогнозе последствий землетрясений;
- при проектировании и производстве промышленных взрывов различного назначения;
- при размещении на фундаментах вибрирующих или ударных механизмов (турбин, компрессоров, кузнечных молотов, прессов и т.д.);
- на пересечении коммуникаций, трубопроводов дорогами, по которым движется скоростной и тяжеловесный транспорт;
- при сейсморазведочных работах.

Динамические нагрузки на грунт определяются тремя параметрами: амплитудой воздействия, продолжительностью действия динамической нагрузки, частотой (спектром частот) воздействия.

Землетрясения подвергают грунт нерегулярным нагрузкам с относительно низкой частотой, высокoамплитудным деформациям большой продолжительности (от нескольких минут до секунд).

Вибрирующие механизмы вызывают периодическую нагрузку, которая может быть либо гармонической, либо негармонической. Нагрузка при их действии имеет более высокую частоту, чем при землетрясении, относительно меньшие деформации, но принципиально иную продолжительность - дни, месяцы, годы.

При проведении сейсморазведочных исследований с взрывной технологией методом отраженных волн (МОВ) грунт испытывает малые деформации, не сопоставимые с деформациями от промышленных взрывов. Взрывы при работах КМПВ с целью исследования глубинного строения земли (ГГС). Взрывы при работах МОВ накладывают на грунт импульсную нагрузку небольшой продолжительности (десятки миллисекунд), которая быстро затухает по мере удаления от источника.

По литературным данным (О. Андерсленд, Д. Андерсон) с нашими дополнениями порядок соотношения амплитуд деформации мерзлых грунтов для различных источников сейсмических колебаний следующий:

- подземный ядерный взрыв - $5 \cdot 10^{-1} - 5 \cdot 10^{-2} \%$;
- сильное землетрясение - $10^{-1} - 10^{-2} \%$;
- вибрация фундаментов под механизмами - $10^{-4} - 10^{-5} \%$;
- сейсморазведка МОВ с взрывной технологией - $10^{-4} - 10^{-7} \%$.

Сейсмические колебания при невзрывных технологиях:

- гидравлические вибраторы - меньше $10^{-7} \%$ при продолжительности воздействий до первых десятков секунд;
- импульсные источники - меньше $10^{-7} - 10^{-10} \%$ при продолжительности импульса воздействия до 10-30 мс.

Практика сейсморазведочных работ с невзрывной технологией показала, что уровни интенсивности возбуждаемых сигналов от источников, излучатели которых не разрушают грунт в контактной зоне, сопоставимы с уровнем естественных микросейсм (ветровые микросейсм, микросейсм от растрескивания льда на водоемах,

волнения в прибрежной зоне и т.д.)

Микросейсм технического происхождения (от пролетающих самолетов, проходящих поездов, наземного транспорта и т.д.) превышают по интенсивности сейсмические сигналы от взрывов в скважинных тротильовых зарядах весом 0,4 - 5,2 кг.

Особенностью электромагнитных источников "Енисей" (санный, колесный, водный - СЭМ, КЭМ, ВЭМ) является отсутствие прямой ударной нагрузки на грунт.

Преобразователи электрической энергии в механическую - электромагниты источников "Енисей" состоят из индукторов, которые крепятся к пригрузам весом 600 - 1800 кг, якорей, расположенных над индукторами с зазорами 4 - 7 мм и опирающихся на опоры станины полоза, шахты излучателей, установленных на грунт (снег, лед, воду).

При прохождении импульса тока в несколько килоампер длительностью 5 - 7 мс через катушки индуктора между полюсами индуктора и якоря возникает электромагнитное поле. Магнитодвижущая сила стягивает индуктор и якорь. Индуктор вместе с пригрузом весом 600 - 1800 кг притягивается к якорю. Жестко лежащий на опорах станины якорь будет воздействовать на грунт через плиту излучателя с силой, зависящей от соотношения масс пригруза и якоря со станиной и опорной плитой, от массы присоединенного грунта.

Не вдаваясь в сложные полуквантитативные и качественные оценки силы воздействия электромагнитного источника на грунт, отметим, что скорость деформации грунта под плитой излучателя источника "Енисей" не может превышать 1,5 м/с (предельная скорость движения пригруза при выборе зазора 4 - 7 мм); амплитуда смещения грунта под плитой излучателя 4 - 7 мм (расстояние между якорем и индуктором величины зазора); время активного воздействия излучателя на грунт 5 - 7 мс. Так как экспериментальные данные позволяют утверждать, что излучатели электромагнитных источников ряда "Енисей" не оставляют после 8 - 16 воздействий штампа на поверхности грунта глубже 3 - 5 мм, амплитуду смещения грунта под плитой излучателя от одиночного воздействия можно определить долями и в процессе накопления воздействий - первыми миллиметрами; на глубинах с 0,5 м под излучателем деформации грунта в процессе воздействий не накапливаются и не могут превышать долей миллиметра.

На основе измерения давления одного полоза "Енисей СЭМ - 100" (два электромагнита) тензодатчиком на глубине 0,5 м деформирующее динамическое давление санного полоза СЭМ - 100 на поверхности грунта в момент воздействия составит - 0,04 МПа.

Учитывая данные скважинных наблюдений, можно констатировать затухание продольных и поверхностных волн на расстоянии в 10 м по горизонтали и на глубину 2 - 4 м на 24 - 48 дБ. Таким образом, динамическое давление излучателя СЭМ - 100 в грунте на глубине 2 - 4 м, на расстояние в 10 м по поверхности можно оценить величиной меньшей по поверхности короткой продолжительности 0,002 МПа при очень короткой продолжительности "ударной" волны (не более 0,020 - 0,050 с).

В таблице 1 приведены значения давлений в проходящей воздушной ударной волне большой продолжительности (больше 0,1 с), при которых в

"ЕНИСЕЙ" ОТ ОАО "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА" БЕЗОПАСНОСТЬ

Виды зданий и сооружений	Давление в МПа, при котором происходит разрушение		
	Полное	Сильное	Слабое
Здания с металлическим или железобетонным каркасом	0,5 - 0,8	0,3 - 0,5	0,05 - 0,2
Здания с каменными стенами (более 3-х этажей)	0,3 - 0,4	0,2 - 0,3	0,05 - 0,1
Здания с кирпичными стенами (до 3-х этажей)	0,35 - 0,45	0,25 - 0,35	0,07 - 0,15
Деревянные дома с металлическим каркасом	0,2 - 0,3	0,12 - 0,2	0,06 - 0,08
Деревянные дома (до 3-х этажей)	1,0	0,5	0,1 - 0,3
Скоростные железные дороги	20 и более	15 - 20	6 - 10
Подземные коммуникации, кабели, трубопроводы диаметром менее 340 мм	20 и более	15 - 20	6 - 10
То же диаметром более 340 мм	10 и более	6 - 10	2 - 3,5
То же диаметром более 500 мм	10 и более	5 - 10	2 - 3
Кабельные подстанции	1,0	0,5	0,1 - 0,3
Воздушные высоковольтные линии передач			

элементах сооружений происходят различные разрушения [1].

Учитывая то обстоятельство, что коммуникации пород зимой перекрыты слоем мерзлых грунтов, приводим сопоставление энергии, накапливаемой в конденсаторной батарее "Енисей СЭМ" - предельное значение 11 кДж, с энергиями ударов пневмогидравлических молотов: 3 - 9 кДж; дробиль - молотов в различных модификациях: 30 - 90 кДж; копровых 6-6, 7 - 100 кДж; пневмодувальников и пневмодотов при числе ударов в минуту до 1250 - 350: 0,1 - 2,5 кДж.

Все эти механизмы применяются в первую очередь при разработке мерзлых грунтов, в т.ч. и вблизи зданий, сооружений, коммуникаций.

Невзрывные источники сейсмических колебаний вибрационного типа: Input/Output, Mertz и т.д. работают и работают в различных городах мира. Для вибраторов характерно давление плиты на грунт порядка 1,2 МПа (сравнить с давлением колода "Енисей СЭМ-100" - 0,04 МПа, т.е. в 30 раз меньше чем у вибратора).

Полная масса собственно вибратора - 10 - 17 тонн против 7 тонн "Енисей СЭМ" (18 тонн "Енисей КЭМ-4").

Длительность непрерывного воздействия на грунт вибратора 10 - 30 с и более, против 0,02 - 0,05 с при импульсном воздействии источников ряда "Енисей".

Следует подчеркнуть, что поведение коммуникаций при вибрационных нагрузках отличается от их поведения при однократных кратковременных нагрузках. Комбинация напряжений и деформаций, являющаяся в какой-либо точке коммуникации безопасной, не приводящей к разрушению при однократном воздействии может оказаться разрушающей при многократном повторении, с переменной частотой следования нагрузок.

Любая система коммуникаций состоит из прямолинейных и криволинейных участков, изогнутых по разным радиусам. Кривые участки (колена) являются наиболее напряженными элементами трубопроводов; наряду с воздействием внутреннего давления, они подвержены также изгибу и в ряде случаев знакопеременным нагрузкам при включении трубопроводов, при изменении температурного режима транспортируемой среды, при воздействии источников сейсмических колебаний (землетрясений, воздушных ударов от пролетающих самолетов, особенно при прохождении последними звукового барьера, вибраций от проходящих поездов, стрелительных и землеройных машин и т.д.)

В справочнике "Расчет трубопроводов на прочность" [2] при рассмотрении силовых воздействий от давления засыпки грунта, подвижных нагрузок (поезда, трактора и пр.) на трубопроводы указано, что часто значение давления на коммуникации грунта и подвижных нагрузок при оценке несущей способности стальных трубопроводов преувеличивается. Если стальной трубопровод рассчитан по первому предельному состоянию, т.е.

на прочность под действием внутреннего давления (0,4 - 0,6 МПа), то нет оснований опасаться, что трубы потеряют устойчивость от внешних нагрузок. При соотношении толщины стенок к диаметру порядка 0,005, нет оснований опасаться потери устойчивости стальных труб, уложенных в грунт (Г. Г. Клейн), от внешних воздействий.

Исходя из выше сказанного, можно сделать следующие выводы:

- а) на сегодня импульсные источники ряда "Енисей" характеризуются наименьшими по амплитуде и продолжительности воздействиями на грунт;
- б) оснований для опасений, что проведение сейсморазведочных работ с применением электромагнитных источников упругих колебаний "Енисей СЭМ, КЭМ, ВЭМ" в пределах населенных пунктов, на участках расположения коммуникаций различного рода вызовет повреждение зданий, сооружений, трубопроводов, нет;
- в) при возбуждении упругих колебаний источниками ряда "Енисей" вблизи зданий и сооружений, над коммуникациями в первую очередь следует опасаться создания нагрузок на грунт от транспортного средства (вес свыше 10 тонн, скорость перемещения при переездах свыше 7,2 км/ч - 2 м/с);
- г) наши рекомендации на основе приведенных оценок о безопасности проведения сейсморазведочных работ в черте и в окрестностях города Ноябрьска (2001 - 2002 гг.) с применением источников "Енисей КЭМ - 2, СЭМ - 100" полностью подтвердились.

Практика работ с "Енисей КЭМ" волье шоссе Красноярск - Енисейск показала, что при установке излучателей "Енисей КЭМ" на асфальт шоссе в процессе 8 - 16 импульсных воздействий полотно дороги не разрушается, каких-либо следов воздействий на асфальте не просматривается. При работе излучателей на задернованных поверхностях (луг, степь) признаков разрушения дерна нет, примятый травяной покров восстанавливается в течение дня (из опыта работ в Хакасии, Актюбинской, Саратовской, Оренбургской областях, Красноярском крае).

Можно однозначно констатировать отсутствие разрушающего воздействия электромагнитных источников "Енисей СЭМ, КЭМ" на коммуникации базы "Геотехноцентра" (водопровод, канализация, тепловая сеть), где до оборудования испытательной площадки пуско-наладочные работы на источниках два года производились у выхода из цеха, в точке пересечения всех трех типов коммуникаций промбазы.

Литература

1. Справочник проектировщика. "Динамический расчет сооружений на специальные воздействия". г. Москва. "Стройиздат", 1981 г.
2. Справочник "Расчет трубопроводов на прочность". А.Г. Камерштейн, В.В. Рождественский и др. "Недра", Москва, 1969 г.