

УДК 624.152.5

**Стешенко Дмитрий Михайлович, Сербин Виталий Викторович,
Парсян Багратик Арамаисович**

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ В ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ИХ ГЛУБИННЫМИ ВЗРЫВАМИ

В статье исследуется уровень колебаний от глубинных взрывов при уплотнении просадочных грунтов, проводится анализ затухания колебаний с расстоянием от точки взрыва, делается предварительный прогноз влияния взрыва на здания и сооружения в соответствии с существующими нормами.

Ключевые слова: просадочные грунты, глубинные взрывы, колебания грунта.

**Steshenko Dmitriy Mihailovich, Serbin Vitaliy Viktorovich,
Parsyan Bagratik Aramaisovich**

INVESTIGATION OF OSCILLATIONS ARISING IN SUBSIDING SOILS DURING COMPACTION OF BY THEIR DEEP EXPLOSIONS

Level of vibration is investigated from deep explosions in collapsible soils, the analysis of amplitude decay with distance from an explosion point is carried out, the preliminary forecast of influence of explosion for buildings and constructions according to existing norms is made.

Key words: collapsible soils; deep explosions, soil vibration.

Проектирование и возведение зданий и сооружений на просадочных грунтах с обеспечением их прочности и нормальной эксплуатации – одна из наиболее важных и сложных проблем современного строительства. Эта проблема особенно актуальна в условиях Северного Кавказа, где 75–80 % площади занимают просадочные лессовые грунты. На них ведется массовое строительство зданий и сооружений, возведены корпуса Атоммаша в г. Волгодонске, уникальные сооружения Ставропольполимера (Прикумского завода пластмасс) в г. Буденновске, создана крупнейшая в мире гидромелиоративная система Большого Ставропольского канала (БСК).

С просадочными грунтами в регионе связаны массовые деформации зданий и сооружений, на исправление которых уже затрачены и дополнительно требуются огромные средства. СНиП [1] рекомендует «устранять просадочные свойства грунтов в пределах всей просадочной толщи – глубинным уплотнением грунтовыми сваями, предварительным замачиванием грунтов оснований, в том числе с глубинными взрывами, химическим или термическим закреплением».

Преимущества взрывных работ обусловлены:

- 1) чрезвычайной компактностью энергии, содержащейся во взрывчатом веществе;
- 2) легкой транспортабельностью ВВ;
- 3) отсутствием необходимости даже в простейшем оборудовании для превращения химической энергии в механическую работу;
- 4) возможностью производить силой взрыва точно то количество работы, которое требуется в каждом отдельном случае.

Взрыв дает возможность получить мощный, доступный и дешевый источник энергии практически мгновенного действия.

Однако, хотя взрыв является эффективным и экономически выгодным способом уплотнения просадочной толщи грунта, массовому внедрению метода в практику строительства препятствует возможность сейсмического воздействия взрывов на соседние здания и сооружения. При производстве взрывных работ наблюдается высокий уровень колебаний грунта, степень воздействия которых на здания, сооружения и коммуникации недостаточно изучена на практике.

Современные условия строительства таковы, что часто приходится строить на территории, где уже существуют застройки. В связи с этим возникает необходимость оценить воздействие колебаний грунта при проведении взрывных работ по уплотнению просадочных грунтов на существующие здания и сооружения, рассчитать безопасное расстояние, на котором взрывы не повлияют на эксплуатационные свойства зданий, сооружений и коммуникаций и разработать мероприятия по снижению

сейсмического воздействия. Актуальность этой задачи обусловлена тем, что в настоящее время отсутствуют нормативные документы, позволяющие сделать точный инженерный расчет сейсмозрывного воздействия на существующую застройку.

В данной работе приведены исследования уровня колебаний и характера затухания поверхностной волны на основе результатов натурального эксперимента по регистрации ускорений колебаний поверхности грунта при проведении глубинных взрывов в лессовидных песках и супесях и сделаны предварительные выводы о безопасном расстоянии от точки взрыва до существующих зданий и сооружений.

В ходе эксперимента была произведена регистрация вертикальных ускорений колебаний грунта во время серии из 4-х взрывов зарядов аммонита массой 10 кг при помощи датчиков-акселерометров. Заряды закладывались в предварительно пробуренные скважины глубиной 5 м с последующей их забойкой, обеспечивающей камуфлетность взрывов. Датчики устанавливались на расстоянии 10 метров друг от друга, первый датчик был удален от места взрыва на 50 метров (рис. 1).

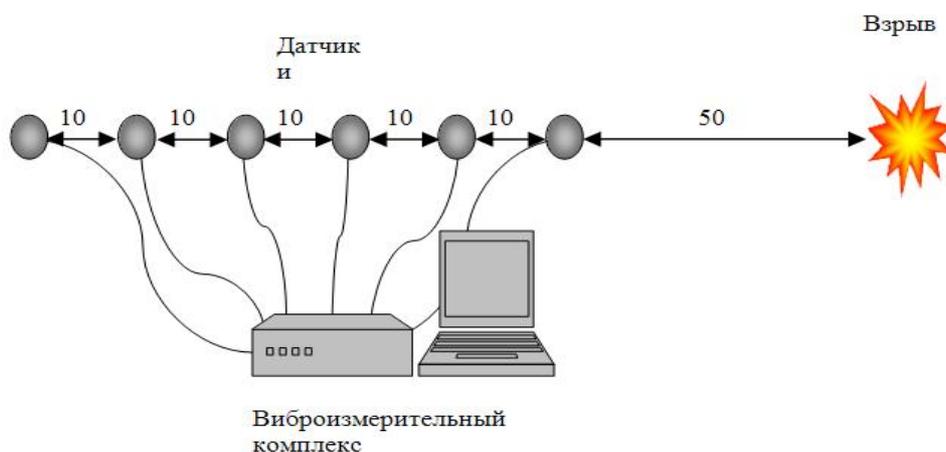


Рис. 1. Схема проведения натурального эксперимента

Согласование датчиков с грунтом обеспечивалось при помощи металлических пластин, к которым датчики крепились при помощи резьбового соединения. Данный способ установки датчиков полностью согласуется с требованиями ГОСТ Р 52892-2007 и ГОСТ ИСО 5348-2002.

Оцифрованные данные записывались на мобильный компьютер типа «notebook» с последующей перезаписью на стационарный компьютер для обработки результатов регистрации амплитудно-временных характеристик (АВХ) ускорения на основе специализированного программного комплекса, включающего базу данных для хранения и систематизации большого объема цифрового и графического материала, получаемого в результате замеров.

Программы для обработки сигналов [2] основаны на обработке АВХ и построении на их основе амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) путем применения быстрого преобразования Фурье [3]. Для более корректного результата для каждой серии замеров проводился корреляционный анализ с последующим осреднением и сглаживанием результатов.

Кроме того, были рассчитаны скорости зарегистрированных колебаний для последующего сравнения с допустимыми значениями. В соответствии с ГОСТ Р 52892-2007 [4], скорости колебаний были получены с использованием применения интегрального преобразования Фурье к зарегистрированным амплитудно-временным характеристикам ускорений колебаний.

Средние максимальные ускорения по результатам 4-х взрывов на различных расстояниях приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные ускорения колебаний на различных расстояниях от точки взрыва

Расстояние до взрыва, м	50	60	70	80	90	100
Максимальное ускорение колебаний, м/с ²	3,2	1,9	1,2	0,66	0,42	0,19

Средние максимальные скорости по результатам 4-х взрывов на различных расстояниях приведены в табл. 2.

Таблица 2

Максимальные скорости колебаний на различных расстояниях от точки взрыва

Расстояние до взрыва, м	50	60	70	80	90	100
Максимальная скорость колебаний, мм/с	13	7,1	3,5	2,1	1,2	1

На текущий момент единственным нормативным документом, позволяющим корректно рассчитать характер затухания упругих волн при импульсном воздействии, является ВСН 490-87 [5]. Однако, следует отметить, что рассчитываемый по данному документу коэффициент затухания является частотно зависимым параметром. Частотный диапазон колебаний, генерируемых при взрыве, в общем случае шире, чем при забивке свай. На рисунках 2 и 3 приведены амплитудно-частотные характеристики скоростей колебаний, зарегистрированных при взрыве и забивке свай соответственно.

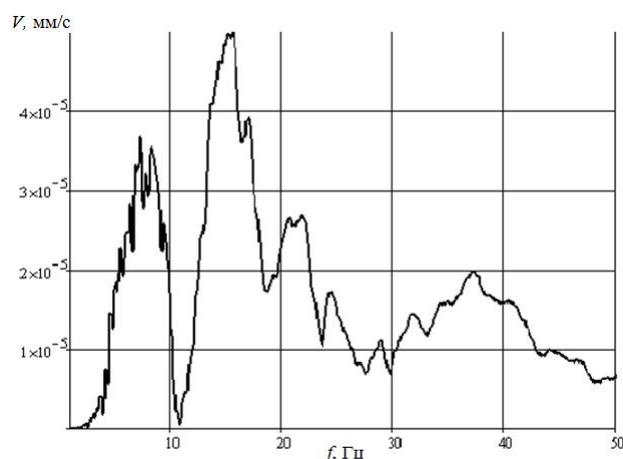


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика скоростей колебаний, масса заряда $m = 10$ кг, расстояние до источника взрыва $r = 50$ м

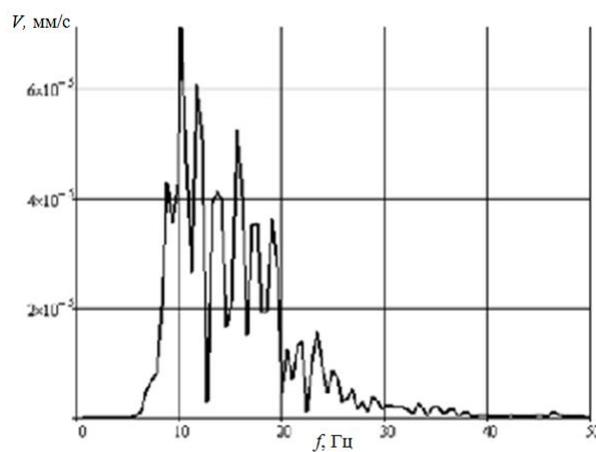


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика скоростей колебаний, при забивке свай, расстояние до свай $r = 40$ м

При сравнении указанных графиков видно, что основные гармоники колебаний находятся в одном диапазоне 10–20 Гц. Таким образом, это дает возможность предположить, что характер затухания амплитуды упругих волн при взрыве сопоставим с характером затухания при забивке свай.

В дальнейших рассуждениях мы будем оценивать уровни колебаний при взрыве, исходя из максимально допустимых уровней ускорений и скоростей, установленных в ГОСТ Р 52892-2007 [4].

Следует отметить, что согласно ГОСТ Р 52892-2007 [4] (п. 5.2.1), кратковременные импульсы или последовательность таких импульсов, если они повторяются нерегулярно или с низкой частотой повторения, при которой отклик успевает затухнуть до прихода следующего импульса, не способны эффективно раскачать конструкцию здания на ее резонансных частотах. Согласно таблице 2 п. 5.2.2 ГОСТ Р 52892-2007 [4] взрывы относятся к источникам кратковременной вибрации.

В ГОСТ Р 52892-2007 [4] используется классификация повреждений, принятая в сейсмологии. Повреждения зданий разделяют на:

- легкие (косметические): тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки, появление тонких трещин в растворе, связывающем кирпичную кладку или бетонные блоки;
- умеренные: небольшие трещины в стенах, проходящие через кирпичную кладку или бетонные панели, откалывание довольно больших кусков штукатурки;
- тяжелые: большие глубокие и сквозные трещины в стенах, трещины в каркасе здания.

Все критерии, приведенные в ГОСТ Р 52892-2007 [4], построены по результатам статистической обработки данных исследований и базируются на предположении, что при превышении указанных предельных значений риск легких повреждения конструкции будет не более 5 %. То есть, вибрация меньше уровня, установленного в рамках любого из критериев, гарантированно не оказывает воздействие на эксплуатационные свойства зданий и сооружений.

Предельные значения (рис. 3) установлены в отношении кратковременной вибрации для пиковых значений скорости на фундаменте здания для трех категорий зданий:

- зданий делового назначения, производственных зданий и сооружений, имеющих аналогичную конструкцию (категория 1);
- жилых зданий и зданий, имеющих аналогичную конструкцию или назначение (категория 2);
- сооружений, не относящихся к категориям 1 или 2, имеющие высокую социальную важность (например, охраняемых памятников архитектуры) (категория 3).

Для частотно-зависимых критериев влияние большинства факторов выражается в виде зависимости предельного пикового значения скорости от частоты доминирующей составляющей.

Из рис. 4 видно, что при доминирующей частоте 16 Гц максимально допустимые скорости колебаний для зданий 1-й категории составляют 25 мм/с, для зданий 2-й категории – 7 мм/с, для зданий 3-й категории – 4 мм/с

В табл. 3 приведены безопасные расстояния от здания до точки взрыва в соответствии с критерием для кратковременной вибрации, приведенным в ГОСТ Р 52892-2007 [4].

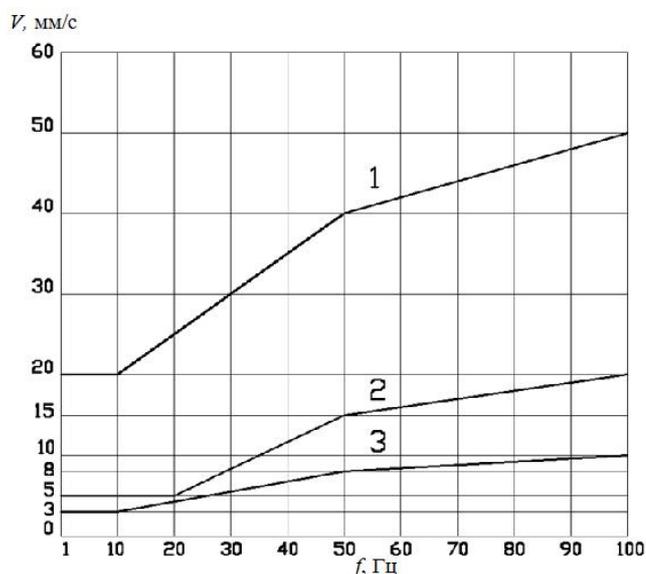


Рис. 4. Предельные значения скорости, измеренной на фундаменте здания: 1) здания категории 1; 2) здания категории 2; 3) здания категории 3

Таблица 3

Допустимое расстояние от места взрыва до здания, в зависимости от категории

Категория зданий	Допустимое расстояние, м	Допустимая скорость, мм/с
Категория 1	38	25
Категория 2	62	7
Категория 3	75	4

Таким образом, по результатам исследования, приведенным в данной работе, можно сделать следующие выводы:

1) безопасные расстояния от точки взрыва до здания для промышленных зданий, рассчитанные в соответствии с ГОСТ Р 52892-2007 [4], составляют 38 метров, для жилых домов – 62 метра, для иных зданий – 78 метров.

При этом следует отметить, что уплотнение глубинными взрывами производится в водонасыщенных лессовых грунтах. Коэффициент затухания в водонасыщенном грунте может быть значительно выше, чем у плотного сухого грунта, для которого проведены данные исследования. Следовательно, затухание до нормативных величин может происходить на меньших расстояниях до источника взрыва, и безопасные расстояния, приведенные в данной работе, являются оценкой сверху.

2) уровни колебаний могут быть дополнительно снижены путем применения специальных мер, например использованием отсечных траншей. Эффективность этих мер требует дополнительного исследования.

Следует также отметить, что в случае более сложного строения разреза, а именно наличия заглубленных включений, ярко выраженной слоистой структуры и т.д., монотонность затухания амплитуды колебаний может быть нарушена, что также требует дополнительных исследований.

Литература

1. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. М.: ГУП ЦПП, 1996. 48 с.
2. Сергиенко А. Б. Обработка цифровых сигналов: учебное пособие. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
3. Снеддон И. Преобразование Фурье. М.: Наука, 1973, 668 с.
4. ГОСТ Р 52892-2007, Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.
5. ВСН 490-87, Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки. М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1988. 29 с.