

УДК 622.235

СЕЙСМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Дайнеко Н.А. студент гр. ГОсз-181, VI курс
Научный руководитель: Марков С.О., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева

Введение

Сейсмические колебания являются одним из проявлений вредных эффектов взрыва. Многократное воздействие сейсмических нагрузок на охраняемые объекты может привести к трещинообразованию в элементах строительных конструкций и потере их несущей способности, к повреждению и разрушению находящихся под давлением трубопроводов, нарушению изоляции электрических и телефонных кабелей и т.д. Поэтому при выборе безопасных режимов взрывания, основываясь на существующих нормативных данных, фактическом состоянии охраняемых объектов, сроках их эксплуатации, степени ответственности и т.д., исходят из того, чтобы уровень сейсмического действия взрыва не превысил допустимого значения [1].

Допустимые скорости колебаний оснований охраняемых объектов при взрывных работах

Проблема сейсмобезопасности охраняемых зданий и сооружений при взрывных работах на горных предприятиях, несмотря на достаточную изученность вопроса в этой области (например, [2-3]), все еще остается актуальной.

Известно, что при взрывах напряжения и относительные деформации сооружений прямо пропорциональны скорости колебаний [4]. Например, в общем виде, величина деформаций в массиве (ϵ) определяется отношением максимальной скорости смещения пород (V) к скорости распространения фронта волны (C_p).

Поэтому, скорость смещения частиц породы наиболее удобна для характеристики сейсмической опасности взрыва и является основным критерием оценки параметров сейсмической защиты различных сооружений, так как, в отличие от амплитуды и ускорения, в меньших пределах изменяется от геологических условий взрывных работ и имеет прямую экспериментальную связь с разрушением зданий и сооружений [4-10].

По этой причине именно пиковая скорость колебаний заложена в качестве критерия сейсмической опасности при промышленных взрывах в нормативные документы Российской Федерации ГОСТ Р 52892-2007 [11], Германии

DIN 4150-3 [12], Великобритании BS 7385-2 [13] и США OSM Regulations 816.67 [14].

Многими исследователями подразумевается, что опасность повреждения связана именно с величиной скорости и не зависит от периода и продолжительности колебаний. Но следует отметить, что такое допущение справедливо только для ограниченного диапазона временных характеристик. Практика предшествующих исследований показывает, что при одинаковых значениях максимальной скорости, действия непродолжительных и высокочастотных колебания от малых взрывов менее опасны, чем продолжительных и низкочастотных (в ближней зоне малого взрыва продолжительность колебаний в 10-1000 раз меньше, чем в дальней зоне большого взрыва, и составляет обычно 0,1-0,2 с).

Поэтому на сегодняшний момент общепринято, что максимальная скорость колебаний (максимальная скорость смещения частиц грунта) является главным критерием оценки уровня сейсмического воздействия взрыва на массив горных пород.

Выбор допустимой скорости колебаний грунта в основании охраняемых объектов может быть осуществлен на основании многолетних проверенных практических данных, полученных в результате инструментальных наблюдений за взрывами [1]. Допустимая скорость колебаний — это такая скорость, при которой сохранение зданий и сооружений (в т.ч. коммуникаций или др. объектов) полностью гарантировано, а возможные локальные деформации не превысят прогнозируемые. В таблице 1 приведены значения допустимых скоростей колебаний грунта в основании некоторых строений, сооружений и подземных коммуникаций, находящихся в исправном состоянии (износ не более 40 %) и расположенных на необводненных грунтах [1].

Таблица 1

Допустимые скорости колебаний грунта
 в основании охраняемых объектов

№ п/п	Характеристика объекта	Допустимая скорость колебаний, мм/с
1.	Жилые здания и сооружения	10-30
2.	Здания производственного назначения	50-70
3.	Несущие колонны цехов	100-200
4.	Стеновые заполнения каркасных зданий	100
5.	Сохранимые железобетонные фундаменты и их части	100-500
6.	Аппаратура контроля и защиты	30-70
7.	Электросиловые установки	100-200
8.	Опоры мостовых кранов	100
9.	Опоры линий электропередач	200-300
10.	Дымовые и вентиляционные трубы кирпичные	30-50
11.	Дымовые и вентиляционные трубы железобетонные	50-100
12.	Электрические кабели низкого напряжения	500
13.	Электрические кабели высокого напряжения	300
14.	Теплотрассы	100

№ п/п	Характеристика объекта	Допустимая скорость колебаний, мм/с
15.	Стальные водопроводные трубы	100
16.	Чугунные, керамические и железобетонные канализационные трубы (исключение повреждения зачеканки)	70
17.	Газопроводы	200
18.	Железнодорожные пути и насыпи, дамбы	150-200

В ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию» [11] рассмотрены стандартах некоторых зарубежных стран по сейсмической опасности взрывов. ГОСТ Р 52892-2007 [11] определяет предельно допустимые уровни колебаний исходя из вероятности появления в зданиях легких повреждений типа волосяных трещин в штукатурке, откалывания мелких кусочков штукатурки и т.п. Согласно данному документу при не превышении изложенных в нем параметров колебаний риск легких повреждений не превысит 5 %.

Согласно ГОСТ Р 52892-2007 [11] степени повреждения зданий могут быть разделены на три уровня:

- 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.

Критерий повреждаемости зданий и сооружений при сейсмических воздействиях, в том числе от промышленных взрывов, согласно ГОСТ Р 52892-2007 [11] базируется на риске появления легких повреждений. Сейсмическая безопасность согласно ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [15] также основана на риске появления в отдельных зданиях и сооружениях легких повреждений.

Согласно [11] для жилых зданий нормы Великобритании BS 7385-2 [13] устанавливают величину предельно допустимой скорости колебаний 16 мм/с для доминирующей частоты 4 Гц, а для частоты 15 Гц – пиковая скорость колебаний не должна превышать 20 мм/с. В нормах США OSM Regulations 816.67 [14] при доминирующей частоте колебаний 1 Гц пиковая скорость не должна превышать 5 мм/с, а при доминирующей частоте колебаний 4 Гц – 20 мм/с. Наиболее жесткие требования установлены в нормах Германии [12]: предельно допустимая скорость колебаний при доминирующей частоте от 1 до 10 Гц не должна превышать 5 мм/с, а при доминирующей частоте 50 Гц – пиковые скорости не должны превышать 15 мм/с. При этом нормативные документы Российской Федерации ГОСТ Р 52892-2007 [11] при определении максимально допустимых скоростей колебаний рекомендуют пользоваться значениями из норм

Германии, Великобритании и США. При этом оговаривается, что выбор того или иного критерия должен быть согласован между заинтересованными сторонами.

Прогноз сейсмического воздействия взрывных работ

Традиционно, в качестве критерия сейсмической безопасности для охраняемых зданий и сооружений при массовых взрывах используется выражение [например, 16-19]: $v \leq [v]$, где v – наблюдаемая (или прогнозируемая) пиковая скорость колебаний в основании защищаемых объектов; $[v]$ – предельно допустимая пиковая скорость колебаний для защищаемых объектов данного типа.

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо определение критической (а лучше, первоначально – допустимой) скорости колебаний из условия отсутствия повреждений и накопления скрытых деформаций в охраняемых зданиях и сооружениях от повторяющихся взрывов.

Для оценки отсутствия повреждений и накопления скрытых деформаций необходима вторая составляющая указанного выше неравенства, т.е. наблюдаемая (или прогнозируемая) пиковая скорость колебаний в основании защищаемых объектов после взрыва.

Данная скорость может быть найдена, как теоретическим, так и экспериментальным путем.

При первом варианте наилучшим, в настоящее время, решением является использование закона подобия распределения энергии взрыва в массиве, предложенного М.А. Садовским [20]. В общем виде, параметры сейсмической волны, определяемые по зависимостям, использующим принцип геометрического подобия, достоверно подтверждаются экспериментальными данными.

Но в реальных условиях [21] обнаруживаются многочисленные отклонения от простейшего подобия. Взрываема порода слоистая, с переменными свойствами по глубине. В результате, скорость становится зависимой от многих факторов.

В итоге, многими исследователями, в последующем, в принцип геометрического подобия было внесено ряд поправок и уточнений, в том числе позволяющих его использовать для рассредоточенных зарядов и взрывов с замедлением [22].

Методы прогнозирования сейсмического воздействия взрывных работ, основанные на использовании справочных данных, дают противоречивые прогнозы, когда прогнозируемые сейсмические эффекты значительно отличаются от наблюдаемых. Так как при их использовании необходимо учитывать параметры, которые могут значительно меняться даже в пределах одной промышленной площадки или эти параметры неизвестны. Более того, такие справочные методы не принимают во внимание особенности систем инициирования, применяемых при проведении взрывных работ на конкретном предприятии.

Выводы

1. Для ведения взрывных работ вблизи охраняемых объектов необходимы научно обоснованные рекомендации по использованию различных систем инициирования, особенно детонирующего шнура, для обеспечения сейсмобезопасности зданий и сооружений.

2. Геологические и гидрологические условия переменны на всем пути распространения сейсмических волн от массовых взрывов, что вносит дополнительную неопределенность в прогноз скорости колебаний при использовании методик прогноза, основанных на справочных данных. Поэтому на наш взгляд сейсмическая безопасность охраняемых объектов при ведении взрывных работ на карьерах может оцениваться только экспериментальными замерами взрывного воздействия.

Список литературы

1. Ганапольский М.И. Обоснование сейсмобезопасных условий производства взрывных работ / М.И. Ганапольский, В.В. Пупков, И.А. Ненахов, В.Е. Фоменкова // Взрывное дело, 2015. – № 113/70. – С.347-365.

2. Шер Е.Н. Сейсмические колебания при массовых взрывах на карьерах с использованием высокоточной электронной и неэлектрической систем взрывания // Е.Н. Шер, А.Г. Черников // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (Journal of mining science), 2009. – № 6. – С. 54-60.

3. Мучник С. В. О снижении сейсмического эффекта при массовых взрывах на карьерах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (Journal of mining science), 2011. – № 4. – С. 68-77.

4. Кутузов Б.Н. Безопасность сейсмического и воздушного воздействия массовых взрывов / Кутузов Б.Н., Совмен В.К., Эквист Б.В., Вартанов В.Г.: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета. - 2004. – 180 с.

5. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах / Мосинец В.Н. - М.: Недра. - 1976. - 271 с.

6. Цейтлин Я.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. - М.: Недра. - 1981. - 192 с.

7. Новиньков А.Г. Статистическая надежность прогнозирования пиковой скорости колебаний при массовых промышленных взрывах / А.Г. Новиньков, С.И. Протасов, П.А. Самусев, А.С. Гукин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2015. – №5. – С.50-58.

8. Новиньков А.Г. Практический метод учета преобладающей частоты колебаний при определении сейсмобезопасных расстояний при ведении взрывных работ на карьерах / А.Г. Новиньков, С.И. Протасов, П.А. Самусев // Взрывное дело, 2016. – №115/72. – С.214-225.

9. Новиньков А.Г. Сейсмическая безопасность подземных горных выработок при ведении взрывных работ на земной поверхности / А.Г. Новиньков,

С.И. Протасов, П.А. Самусев // Безопасность труда в промышленности, 2018. – № 8. – С. 64-68.

10. Новиньков А.Г. Определение сейсмобезопасных расстояний при массовых промышленных взрывах с учетом преобладающей частоты колебаний / А.Г. Новиньков, С.И. Протасов, П.А. Самусев, А.С. Ташкинов // Вестник КузГТУ. 2016. – №6 (118). - С.56-62.

11. ГОСТ Р 52892-2007 Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее действия на конструкцию. М.: Стандартинформ, 2008.

12. DIN 4150-3:1999-02 Structural Vibration. Part 3. Effects of Vibration on Structures. – 1999.

13. BS 7385-2:1993 Evaluation and measurement for vibration buildings/ Part 2. Guide to damage levels from groundborne vibration. – 1993.

14. OSM Blasting Performance Standards. 30 Code of Federal Regulations. Sec. 816.67. Use of Explosives: Control of adverse effects.

15. ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» (утверждены приказом Ростехнадзора от 03.12.2020 г. № 494, зарегистрированы в Минюсте России 25.12.2020 г. № 61824).

16. Самусев П.А. Сравнительная оценка сейсмического действия массовых взрывов при применении различных систем инициирования / П.А. Самусев, А.Г. Новиньков, С.И. Протасов, А.Н. Завьялов // Взрывное дело, 2023. – № 141/98. – С.107-133.

17. Новиньков А.Г. Опыт управления сейсмобезопасностью массовых взрывов / А.Г. Новиньков, С.И. Протасов, П.А. Самусев // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2019. № 3. С. 45-53.

18. Новиньков А.Г. Сейсмическая безопасность подземного газопровода при массовых промышленных взрывах на угольном карьере / А.Г. Новиньков, С.И. Протасов, П.А. Самусев, А.С. Гукин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. № 6 (100). С. 51-55.

19. Самусев П.А. Практические способы повышения точности прогноза пиковой скорости колебаний при оценке сейсмической безопасности взрывных работ / П.А. Самусев, А.Г. Новиньков, С.И. Протасов // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021. № 4. С. 5-15.

20. Садовский М.А. Избранные труды. Геофизика и физика взрыва. Отв. ред. В. В. Адушкин. - М.: Наука, 2004.

21. Марков, С. О. Гранулометрический состав отвальных массивов разрезов Кузбасса / С. О. Марков, Е. В. Мурко, Ф. С. Непша // Горные науки и технологии. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 259-266. – DOI 10.17073/2500-0632-2021-4-259-266. – EDN EBGHLLA.

22. Барон В.Л. Определение безопасных расстояний при производстве взрывных работ / В.Л. Барон, В.А. Белин, М.И. Ганапольский, И.Б. Строгий // Москва : Горное дело : Киммерийский центр, 2016. - 176 с.