

**УДК 622.235**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ**

Самусев Е.А., директор АО «Северный Кузбасс – развитие»  
Морозов С.Ю. студент гр. ГОс-201, V курс.

### **Введение**

При взрыве заряда взрывчатого вещества (ВВ) в нем со сверхзвуковой скоростью распространяется детонационная волна, за фронтом которой происходит мгновенное химическое разложение ВВ с превращением его в газообразные продукты взрыва (ПВ). Давление в них достигает десятков мегапаскалей. В процессе развития взрыва энергия ПВ передается окружающей среде в виде ударной волны и механического движения, вызывая ее дробление и разлет кусков. По мере удаления от места взрыва заглубленного заряда ударная волна трансформируется в сейсмическую. Воздействие сейсмических и ударных воздушных волн вызывает появление трещин в строениях и повреждение их застекления. При разлете кусков раздробленного взрывом материала возможны случаи пробивания конструкций сооружений. Эти проявления взрыва — его вредные эффекты, которые могут стать причиной повреждения строений и коммуникаций, травмирования людей и животных [1].

Взрывные работы необходимо осуществлять в соответствии с оформленной в установленном порядке технической документацией (проектами буровзрывных (взрывных) работ, паспортами, схемами). С такими документами работники, осуществляющие буровзрывные работы, должны быть ознакомлены под подпись [2].

Расчет размеров опасных зон при производстве взрывных работ производят в соответствии с методиками, приведенными в главе XII «Безопасные расстояния при производстве взрывных работ и хранении взрывчатых материалов. Порядок определения безопасных расстояний при взрывных работах и хранении взрывчатых материалов» [2].

На открытых горных работах определяют радиусы опасных зон по разлету кусков породы, сейсмическому действию взрыва, действию ударной воздушной волны и распространению ядовитых газов взрыва.

За безопасное расстояние необходимо принимать наибольшее из установленных по различным поражающим факторам [2]. Для предотвращения воздействия взрывов на собственные объекты и объекты третьих лиц устанавливают опасную зону, размеры которой на каждый взрыв определяют по наиболее опасному вредному фактору, при взрывах на земной поверхности чаще всего по разлету кусков породы и сейсмическому действию взрыва.

Кроме того, для горных предприятий, ведущих разработку полезных ископаемых открытым способом, установлены санитарно-защитные зоны

(СЗЗ), размеры которых определяются в соответствии с указаниями СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов». Размеры СЗЗ устанавливаются исходя из классификации объектов, расчетов рассеивания загрязнения атмосферного воздуха и физического воздействия проводимых работ (шум, вибрация и др.) на окружающую среду [1].

Взрывы воздействуют не только на здания и сооружения, но и на окружающую среду. Очевидно, что за пределами установленной границы СЗЗ воздействие взрывов (сейсмические колебания и вызванная ими вибрация, УВВ и взрывной шум, распространение пылегазового облака и т. д.) не должно превышать допустимый уровень и исключать возможность вредного влияния на людей и технологический процесс [1].

В действующих нормативных документах, методики обоснования радиусов опасных зон и безопасных режимов взрывания, а также оценка воздействия вредных эффектов взрывов на окружающую среду практически отсутствуют или приведены в недостаточном объеме.

В Правилах [2] отмечено также, что указанные методы определения безопасных расстояний неприменимы для зданий и сооружений уникального характера (здания атомных электростанций, башни, высотные здания, монументальные общественные здания) и для ответственных и сложных инженерных сооружений (мосты, реакторы различного назначения, гидротехнические сооружения, радиомачты). Для таких объектов вопросы сейсмической безопасности должны решаться с привлечением специализированных (научных, экспертных) организаций. Условия взрывания, не предусмотренные пунктами 792 – 795 Правил [2], и такие факторы, как направленность сейсмического действия группы зарядов большой протяженности, наличие повреждений зданий при повторяющихся взрывах, особенности сейсмического действия мощных 1000 т взрывчатых веществ и более, следует определять с привлечением специализированных (научных, экспертных) организаций.

В п. 808 ФНП [2] сказано, что при взрывах вблизи лечебных, детских учреждений и зданий с большой площадью застекления, значительным скоплением людей, вопрос определения безопасных расстояний следует решать с привлечением специализированных (научных, экспертных) организаций.

### **Методические подходы к определению сейсмобезопасных расстояний при взрывных работах по ФНП [2]**

В настоящее время сейсмобезопасные расстояния при межскважинных замедлениях определяются по ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [2].

Уровень сейсмического действия массового взрыва зависит от большого количества факторов – тип и масса ВВ, конструкция заряда, схемы инициирования зарядов, замедления между взрывами скважин, а также свойств массива взрываемых пород и расположение блока в этом массиве (наличие свободных поверхностей, линия наименьшего сопротивления и т.п.).

В п. 794 Федеральных норм и правил [2] приводятся указания по определению сейсмобезопасных расстояний при одновременном взрывании  $N$  зарядов взрывчатых веществ (количество групп) общей массой  $Q$ , при этом замедления между взрывами каждого заряда должно быть не менее 20 мс.

$$r_c = \frac{K_r \times K_c \times \alpha}{\sqrt[4]{N}} \times \sqrt[3]{Q}, \quad (1)$$

где  $r_c$  – расстояние от места взрыва до охраняемого здания (сооружения), м;  $K_c$  – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого здания (сооружения);  $K_r$  – коэффициент, зависящий от типа здания (сооружения) и характера застройки;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от условий взрывания;  $N$  – количество зарядов взрывчатого вещества (количество групп);  $Q$  – общая масса всех зарядов, кг.

Согласно [2] при взрывании групп зарядов с замедлениями между взрывами в отдельной группе менее 20 мс каждую такую группу следует рассматривать как отдельный заряд с общей массой для группы.

Общепринято, что при короткозамедленном взрывании на сейсмическое действие взрыва основное влияние оказывает масса ВВ в группе.

Анализируя формулу (1) видно, что в правой части формулы содержатся зависимые величины [9], выразим  $Q = Q_{гр} N$ , где  $Q_{гр}$  – масса взрываемого ВВ на ступень замедления и представим (1) в виде равносильного выражения:

$$r_c = K_r \times K_c \times \alpha \times N^{0,08} \times Q_{гр}^{1/3}.$$

Из анализа формулы видно, что влияние на сейсмический эффект собственно общей массы взрываемого ВВ незначительно, так как с ростом  $N$  (количества групп и соответственно массы ВВ на блоке) увеличение сейсмобезопасного расстояния происходит медленно.

Учитывая эмпирическую природу рассматриваемых формул и точность сейсморегистрирующей аппаратуры, характеризующейся погрешностью измерений 10-15%, можно с уверенностью признать излишность уточнений, связанных с учетом общей массы взрываемых зарядов. Из теории ошибок следует, что при относительной погрешности в определении сейсмобезопасного расстояния 10-15 %, показатель степени при  $N^{0,08}$  нельзя определить с точностью до 3-го знака и, учитывая порядок степени 0,08, ее можно признать равной нулю, в этом случае  $N=1$ . Тогда сейсмобезопасное расстояние оказывается независимым от общей массы взрываемого заряда, что подтверждается практикой крупномасштабных взрывов на карьерах [9].

В п. 795 ФНП [2] отмечено, что приведенные в них методы определения безопасных расстояний относятся к зданиям, находящимся в удовлетворительном техническом состоянии. При наличии повреждений в зданиях безопасные расстояния должны быть увеличены. Это увеличение устанавливается в соответствии с заключениями специализированных (научных, экспертных) организаций. При отсутствии таких заключений безопасные расстояния должны быть увеличены не менее чем в 2 раза.

Безопасные расстояния для людей при взрывных работах на земной поверхности следует принимать не менее величин, указанных в Приложении № 21 ФНП [2] (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Безопасные расстояния для людей  
при взрывах на земной поверхности (выдержки)

№ п/п	Виды и методы взрывных работ	Минимально допустимые радиусы опасных зон, м
1.	Взрывание на открытых работах методами:	
	1.1. Наружных зарядов,	300
	в том числе кумулятивных	По проекту
	1.2. Шпуровых зарядов	200 При взрывании на косогорах в направлении вниз по склону величина радиуса опасной зоны должна приниматься не менее 300 м.
	1.5. Скважинных зарядов	Не менее 200 При взрывании на косогорах в направлении вниз по склону величина радиуса опасной зоны должна приниматься не менее 300 м. Радиус опасной зоны указан для взрывания зарядов с забойкой.
	1.6. Котловых скважин	Не менее 300
	1.7. Камерных зарядов	Не менее 300
16.	Взрывные работы с применением защитных укрытий	По проекту В проект должен включаться раздел, в котором излагаются специальные меры по обеспечению безопасности людей.

**Недостатки при строительстве зданий и частных домов**

При рассмотрении жалоб жителей в судебном порядке суд обязан принять во внимание отступления от требований действующих нормативных

документов (СНиПы, ГОСТы, СП и т.д.), т.к. причины образования повреждений в зданиях могут быть связаны именно с нарушениями требований указанных нормативных документов.

Так, например, согласно СП 22.13330.2016 [6] расчетная глубина заложения фундамента в условиях Кемеровской области должна быть от 1,4 м (глины и суглинки под отапливаемым помещением, полы на лагах по грунту) до 2,5 м (супеси, пески крупнообломочные грунты под неотапливаемыми помещениями).

Согласно СП 63.13330.2018 [7] марка бетона по морозостойкости для фундаментов должна быть не ниже F150, а по водонепроницаемости – не ниже W2.

Кроме того, при фактическом исполнении фундаментов вместо железобетона, хотя бы с минимально допустимым армированием используется бетон либо без арматуры, либо характер армирования не позволяет включить армирование в работу. В результате непрерывный фундамент разделяется на независимо работающие блоки, при этом в конструкциях стен образуются трещины.

Как правило, в практике индивидуального жилищного строительства эти требования, влияющие на неравномерность осадок здания (а следовательно, и на появление трещин), а также на состояние фундаментов, выполняются достаточно редко. На неравномерность осадок основания также оказывает влияние сезонные колебания уровня грунтовых вод.

Например, г. Новокузнецк и прилегающие районы относятся к сейсмическим районам с расчетной балльностью сотрясения земной поверхности 7-8 (в зависимости от грунтовых условий, для зданий массовой застройки), все здания (в т.ч. и одноэтажные жилые) должны проектироваться и строиться с учетом требований сейсмостойкого строительства. СП 14.13330.2018 [8] накладывает такие дополнительные требования, как устройство армированной стяжки поверх ленточных фундаментов, выполнение перекрытий и покрытий в виде жестких дисков (специальные конструктивные мероприятия), дополнительные требования к материалам (марка кирпича не ниже М75, класс легких бетонов по прочности на сжатие не ниже В5, марка плотности легкого бетона не ниже D500) и т.д.

С учетом, того, что за последние 10-15 лет произошло несколько мощных землетрясений в прилегающих к Новокузнецку регионах (Горно-Алтайские землетрясения, Бачатское землетрясение), возможна связь между появившимися повреждениями в зданиях с естественной природной сейсмикой, особенно при неучете требований нормативных документов в части сейсмостойкого строительства, а не от взрывных работ горных предприятий.

Часто встречаются ситуации, когда свесы кровли имеют недостаточный вылет, в результате чего происходит замачивание стен. При этом развивающиеся повреждения не связаны с сейсмическими воздействиями, а являются результатом попеременного замораживания и размораживания воды в порах и трещинах.

## Оценка сейсмического воздействия взрывных работ

Выполним расчет сейсмобезопасных расстояний по ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» [2] для неповрежденных зданий и зданий, имеющих повреждения, что встречается повсеместно даже в небольших жилых поселках. Расчет выполним при следующих параметрах: масса ВВ на блоке  $\approx 200$  т;  $K_r = 8$  (скальные породы плотные, ненарушенные) и  $K_r = 15$  (почвенные обводненные грунты и грунты с высоким уровнем грунтовых вод);  $K_c = 2$  (небольшие жилые поселки);  $\alpha = 1,5$  и  $2,0$  (взрыв на рыхление при размещении заряда в воде или в водонасыщенных грунтах). Параметры скважинного заряда: диаметр скважин  $d = 0,216$  м; глубина скважины  $L = 17,7$  м; длина заряда  $l_z = 12,6$  м; масса скважинного заряда 552 кг; количество скважин 362 шт.; тип ВВ – Эмульсолит А-20. В группу зарядов попадают 2 скважины, количество групп зарядов 181 шт.

Наименование показателей	Значение
Расчетное безопасное расстояние по сейсмическому воздействию для <b>неповрежденных</b> зданий, м	
• $\alpha = 1,5; K_r = 8$	383
• $\alpha = 2; K_r = 8$	510
• $\alpha = 1,5; K_r = 15$	718
• $\alpha = 2; K_r = 15$	957
Расчетное безопасное расстояние по сейсмическому воздействию для <b>поврежденных</b> зданий (с учетом требований п. 795 ФНП [2]), м	
• $\alpha = 1,5; K_r = 8$	765
• $\alpha = 2; K_r = 8$	1020
• $\alpha = 1,5; K_r = 15$	1435
• $\alpha = 2; K_r = 15$	1913

Анализ результатов расчетов для условного блока показывает, что если неправильно выбирать значения коэффициентов для расчета сейсмобезопасных расстояний и не учитывать состояние охраняемых зданий и сооружений, то расчетное сейсмобезопасное расстояние может быть уменьшено в 5 раз, а для других значений коэффициентов формулы (1) и больше. При этом в методике ФНП [2] нет точных указаний для определения коэффициента  $\alpha$  (коэффициент, зависящий от условий взрывания). При изменении этого коэффициента с 2 до 1,5 сейсмобезопасное расстояние уменьшается в 1,3 раза.

Кроме массы заряда и расстояния на величину скорости сейсмических колебаний оказывают влияние многие факторы, к которым относятся свойства пород в основании охраняемых объектов и на пути распространения волн, топография местности, глубина взрыва, режим взрывания и другие параметры. В способах оценки этих и других факторов нет единого подхода. Попытки теоретического решения задачи существенно расширяют существующие представления о роли отдельных факторов, однако в силу их известной схематизации не могут иметь обобщающего значения. Мнения исследователей в оценке влияния отдельных факторов на сейсмический эффект взрывов противоречивы и не всегда содержат убедительные обоснования достоверности предлагаемых моделей [9].

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.

Большое число эмпирических формул, справедливых для определенных условий, со всей очевидностью характеризует их невысокую надежность в широком диапазоне горнотехнических условий выполнения взрывных работ. Именно это и предопределило ограничение области применения методики, принятой, в частности, в ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» – простейшими условиями производства взрывов [9].

Геологические и гидрологические и другие 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 по методикам, изложенным в [10-14].

## **Выводы**

1. Оценка сейсмической безопасности при массовых промышленных взрывах для зданий и сооружений уникального характера и для ответственных и сложных инженерных сооружений, а также для объектов со значительным скоплением людей должна выполняется исключительно на основе экспериментальных данных, полученных для конкретного горного предприятия, для конкретной технологии ведения взрывных работ. Такой подход позволяет автоматически учесть все особенности горно-геологических

условий на пути распространения сейсмических волн от границы взрываемого блока до защищаемых объектов, а также принять во внимание способы ведения взрывных работ на конкретном предприятии.

2. Расчет сейсмобезопасных расстояний по методике, изложенной в ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» должен проводиться с обязательным учетом грунтовых условий в основании охраняемых зданий и сооружений, а также состояния охраняемых объектов.

### Список литературы

1. Барон В.Л. Определение безопасных расстояний при производстве взрывных работ / Барон В.Л., Белин В.А., Ганапольский М.И., Строгий И.Б.: под ред. д.т.н. М.И. Ганапольского. – М.: Горное дело, 2017. – 176 с.

2. 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).

3. 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. – DOI 10.24000/0409-2961-2018-8-64-68. – EDN UWIXVV.

4. 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 Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 6(118). – С. 56-62. – EDN XVKMUD.

5. 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. – EDN IHJKJF.

6. СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* (утв. Приказом Минстроя России от 16.12.2016 N 970/пр).

7. СП 63.13330.2018. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (утв. и введен в действие Приказом Минстрой России от 19.12.2018 N 832/пр).

8. СП 14.13330.2018. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.05.2018 N 309/пр).

9. Оника С.Г. Современное состояние методов прогноза сейсмичности взрывов на открытых разработках / С.Г. Оника, В.С. Войтенко, Ф.Г. Халявкин // Горная механика и машиностроение. 2012. – № 1. – С. 28-33.



10. 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. – DOI 10.25558/VOSTNII.2021.20.75.001. – EDN MZRHUJ.

11. Determination of Seismic Safe Distances During Mining Blasts with Consideration of a Dominant Vibration Frequency / A. G. Novinkov, A. S. Tashkinov, S. I. Protasov, P. A. Samusev // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety, Kemerovo, Russia, 10–12 октября 2016 года. – Kemerovo, Russia: ATLANTIS PRESS, 2016. – P. 202-205. – EDN WNWLZV.

12. 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. – EDN WCLGIZ.

13. Самусев, П. А. Определение дальности разлета отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов рыхления / П. А. Самусев, А. Г. Новиньков, С. И. Протасов // Техника и технология горного дела. – 2023. – № 4(23). – С. 4-25. – DOI 10.26730/2618-7434-2023-4-4-25. – EDN EMPGJG.

14. Novinkov, A. Ensuring Seismic Safety of Underground Mines During Blasting Operations in Combined Surface-Underground Deposit Development / A. Novinkov, S. Protasov, P. Samusev // E3S Web of Conferences : 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 01016. – DOI 10.1051/e3sconf/202017401016. – EDN RYFUWK.