

УДК 622.831.32: 550.348.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНЪЕКЦИОННОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СООРУЖЕНИЙ

Сафонов А.Е., студент гр. ФПс-141, V курс

Научный руководитель: Простов С.М., д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва
г. Кемерово

Сейсмичность в России обусловлена интенсивным геодинамическим взаимодействием нескольких крупных литосферных плит (Евразийской, Африканской, Аравийской, Индо-Австралийской, Китайской, Тихоокеанской, Северо-Американской и Охотоморской). Согласно карте сейсмического районирования ОСР-97, являющейся частью первой мировой карты глобальной сейсмической опасности, Кузбасс относится к регионам с умеренной сейсмической активностью.

Наиболее мощные землетрясения с магнитудой $M \approx 6$ на территории Кемеровской области отмечены на рубеже XIX и XX вв., а в течение периода с начала 1960-х годов землетрясений с магнитудой более 4.5 не наблюдалось, однако произошедшее 19.06.2013 г. землетрясение магнитудой $M = 5.2$ в районе г. Белово привлекло всеобщее внимание к проблеме сейсмоактивности Кузбасса. Изменения сейсмической обстановки указывают на рост сейсмической опасности, серьезно недооцениваемой до последнего времени.

В начале 30-х годов прошлого века началось интенсивное освоение Кузбасского угольного бассейна. Построены первые металлургические комплексы, протянута сеть железных дорог для крупнотоннажных грузовых перевозок, началась активная добыча полезных ископаемых с использованием промышленных взрывов. С ростом объема извлеченной горной массы и масштабов ведения взрывных работ в Кузбассе произошел резкий рост техногенной сейсмичности [1]. В 60-е годы началось увеличение количества техногенных сейсмических событий, которое резко ускорилось после 80-х годов. Хотя их мощность и была невелика, но количество техногенных сейсмических событий значительно превысило количество естественных сейсмических событий. На рис. 1 показаны суммарные количества наиболее крупных сейсмических событий (энергетический класс $K > 8,5$), замечен рост сейсмической активности в период 1998-2005 гг. Судя по количеству землетрясений 9 – 10 классов, самым мощным было повышение сейсмической активности в 2000-2005 гг. – по меньшей мере 20 землетрясений против 5 – 6 в предыдущие два, но землетрясений 11 класса в этот подъем сейсмичности было всего два (не больше, чем в предыдущие подъемы), а землетрясений 12 класса вообще не отмечалось (в 1966 г. зафиксировано одно землетрясение 12 класса).

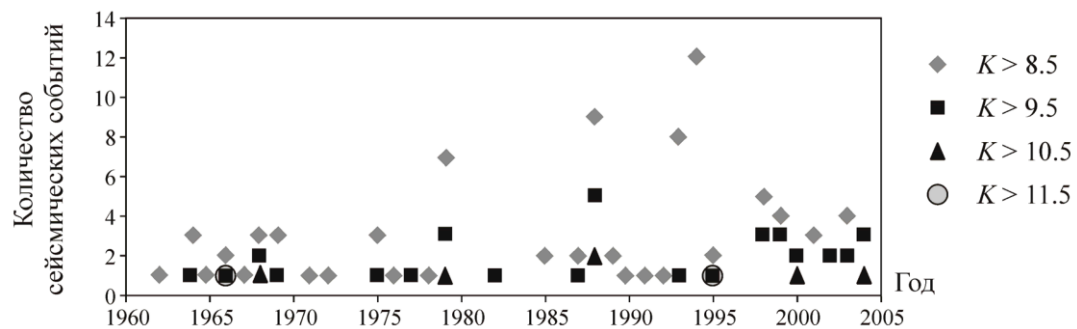


Рис. 1. Ежегодные количества сильных сейсмических событий в период 1962-2005 гг. (по данным ВНИМИ)

До 2000 года Кузбасс по сейсмическому районированию относился в основном к территории с сейсмичностью не более 6 баллов, что не предусматривало проведение специальных антисейсмических мероприятий при строительстве (рис. 2). По принятым ещё в СССР нормам здания проектируются и строятся сейсмостойкими на территориях, имеющих сейсмоопасность 7 баллов и выше.



Рис. 2. Устаревшая карта сейсмического районирования.

Переоценка сейсмической опасности территории области привела к росту балльности региона. Применение антисейсмических мер увеличивает стоимость строительства зданий и сооружений на 30-40%. Ситуацию осложняет распространенность слабых обводненных грунтов, при наличии которых сейсмичность повышается на дополнительный балл. Сейсмическое воздействие на здание на площадке с сейсмичностью в 7 баллов в 2 раза превышает 6-балльное, в свою очередь, на 8-балльных площадках это воздействие в 2 раза превышает 7-балльное, и так далее.

Уменьшение коэффициента сейсмической опасности в настоящее время является важной и актуальной социально-экономической задачей. Одним из способов добиться этого является уплотнение грунтов.

Известен опыт компании ООО «НО-ОСТРОЙ» проведения опытного инъекционного уплотнения грунтов на участке планируемого строительства здания в г. Кемерово, размерами 28x8 м. Закрепление грунтового основания осуществлялось путем напорной инъекции цементно-песчаного раствора, предусматривающей частичный гидроразрыв грунта на началь-

товом основании осуществлялось путем напорной инъекции цементно-песчаного раствора, предусматривающей частичный гидроразрыв грунта на началь-

ной стадии нагнетания. Технология закрепления детально описана в монографии [2]. Грунт представлен суглинком бурым, тугопластичным с линзами супеси и объемным весом $1,7 \text{ г/см}^3$. Исходная максимальная замеренная сейсмическая интенсивность составила 7 баллов, скорость поперечных (S) волн в 30-ти метровой толще изменялась в диапазоне от 177 до 235 м/с.

Для уточнения сейсмической интенсивности на участке проведения инъекционного уплотнения грунтов было проведено изучение сейсмических свойств грунтов на специально организованном полигоне непосредственно после уплотнения (через 2 сут.) и в процессе консолидации грунта спустя 51 сут. после уплотнения.

Для расчета приращения сейсмической интенсивности по методу сейсмических жесткостей выполнен комплекс работ по сейсмическому зондированию методом преломленных волн (МПВ). Зондирования выполнялись сейсмостанцией «Лакколит Х-МЗ» с 12-ю каналами. Привязка точек на местности осуществлялась с использованием плана (М 1:500). Расположение точек сейсмического зондирования приведено на рис. 3.

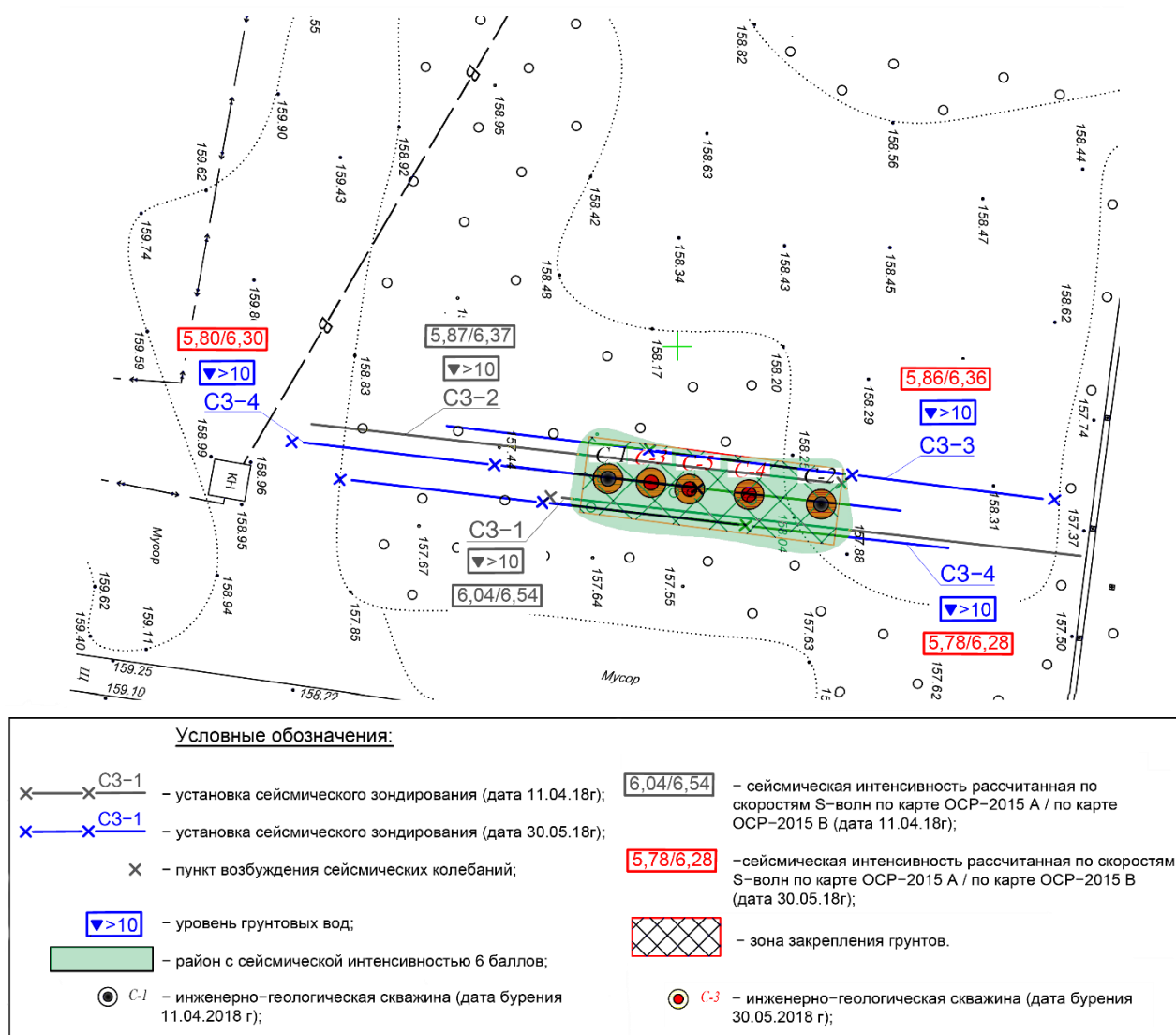


Рис. 3. Карта опытного полигона, совмещенная с картой сейсмического районирования

Для возбуждения сейсмических колебаний применялась кувалда (темпер) весом 6 кг. При записи поперечных волн удар наносился горизонтально в двух противоположных направлениях, перпендикулярных линии расстановки сейсмоприемников. Для регистрации поперечных волн применялись горизонтальные сейсмоприемники GS20-DX-2B. Работы по сейсмическому зондированию выполнялись в 2 этапа 11.04.2018 г. (через 2 сут. после уплотнения грунтов выполнено 2 точки сейсмического зондирования), 30.05.2018 г. (через 51 сут. после уплотнения выполнено 3 точки сейсмического зондирования). Данные, полученные по результатам сейсмическому зондированию, обрабатывались в программе ZondST2D. Производилось суммирование сейсмограмм, полученных из пункта возбуждения ПВ-1, ПВ-2 и ПВ-3.

По полученным из сейсмограмм годографам определены средняя и граничная скорость упругих волн. Далее определялась средневзвешенная скорость в 30 метровой толще по следующей формуле:

$$\bar{V}_S = \frac{H}{\sum_{i=1}^3 t_i},$$

где H – мощность расчетной толщи, м (30 м); t_i – время вертикального пробега упругой волны в i -м слое, с;

$$t_i = \frac{h_i}{V_{Si}};$$

h_i – мощность i -того слоя, м; V_{Si} – пластовая скорость в i -м слое.

Пример полученных результатов сейсмического зондирования представлены на рис. 4.

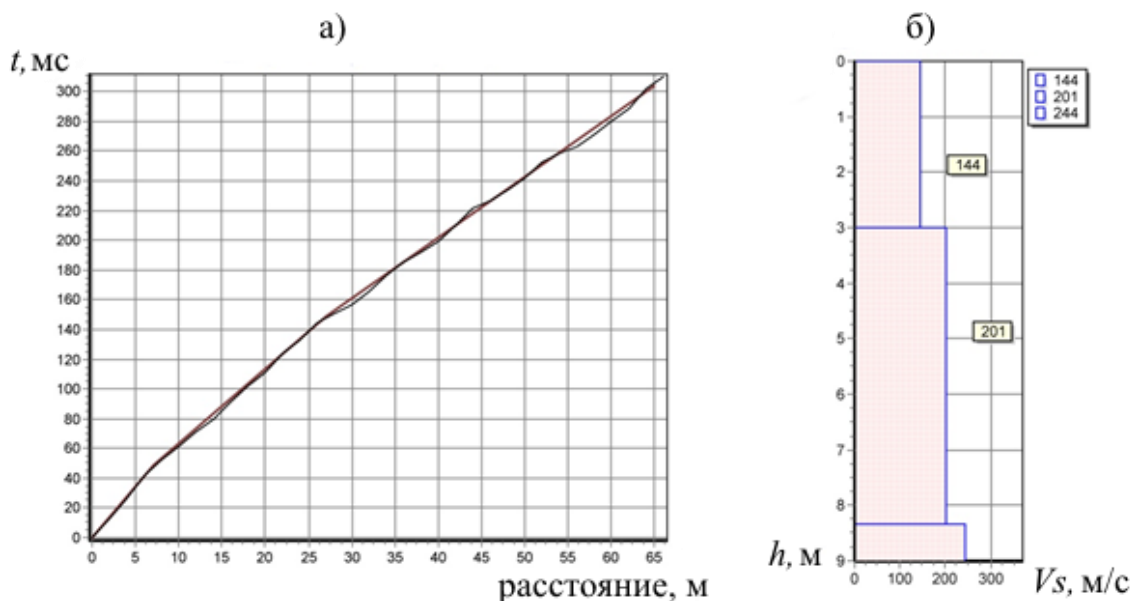


Рис. 4. Результаты измерений сейсмической интенсивности в 30 метровой толще грунтов для точки СЗ-5; годографы для пикирования (а); пластовая модель скоростей(б)

Средневзвешенная скорость поперечных (S) волн в 30 метровой толще изменяется в диапазоне от 220 до 234 м/с на конец исследований (51 сут. после уплотнения грунтов) (табл. 1).

Таблица 1 – Расчет сейсмической интенсивности в 30 метровой толще грунтов

№ точки СЗ	№ скважины	Средневзвешенный объемный вес ρ , г/см ³	Средневзвешенная скорость поперечных волн в 30-ти метровой толще, м/с	Уровень грунтовых вод (УГВ), м	Коэффициент, зависящий от грунтовых условий	Приращение сейсмической интенсивности I, рассчитанное по поперечным волнам, балл	Приращение сейсмической интенсивности за УГВ, балл	Суммарное приращение сейсмической интенсивности, балл	Среднее приращение по площадке, рассчитанное по поперечным волнам
От 11.04.2018г (2 сут. после уплотнения грунтов)									
СЗ-1	С-1	1,89	161	>10	1	0,24	0,00	0,24	0,16
СЗ-2	С-2	1,88	204	>10	1	0,07	0,00	0,07	
От 30.05.2018 (51 сут. после нагнетания)									
СЗ-3	С-3	1,92	234	>10	0,5	0,06	0,00	0,06	0,01
СЗ-4	С-5	1,92	229	>10	0,5	-0,02	0,00	-0,02	
СЗ-5	С-4	1,92	220	>10	0,5	0,00	0,00	0,00	

На 11.04.2018г (через 2 сут. после уплотнения грунтов) максимальная замеренная сейсмическая интенсивность по скоростям поперечных волн составила 6 баллов (измерено 6,04). На 30.05.2018г (через 51 сут. после уплотнения грунтов) максимальная замеренная сейсмическая интенсивность по скоростям поперечных волн составила 6 баллов (измерено 5,86).

В результате проведенных исследований установлено, что площадка с уплотненными грунтами перешла в 6-ти балльный район. Среднее приращение сейсмической интенсивности по площадке снизилось с 0,16 до 0,01 балла.

Таким образом, экспериментально доказано, что уплотнение грунтов цементно-песчаным раствором является эффективным способом повышения сейсмостойкости сооружений.

Список литературы

1. Яковлев, Д. В. Природно-техногенная сейсмоактивность Кузбасса / Д. В. Яковлев, Т. И. Лазаревич, С. В. Цирель // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 6. – С. 20-34.
2. Простов, С. М. Комплексный геолого-геофизический мониторинг процессов упрочнения грунтов / С. М. Простов, О. В. Герасимов, Н. Ю. Никулин. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. – 344 с.