

УДК 622.235

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОРНЫХ УДАРОВ НА ДЕФОРМИРОВАННУЮ ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

А. А. ВОВК, В. Г. КРАВЕЦ, А. А. КУЗЬМЕНКО

Институт гидромеханики НАН Украины, Киев

Получено 17.11.98

Представлены методические разработки прогнозирования влияния подземных работ на поверхностные объекты при комплексной оценке воздействия статических (оседание) и динамических (горные удары) нагрузок.

Наведені методичні розробки прогнозування впливу підземних робіт на поверхневі споруди при комплексній оцінці дії статичних (просадка) і динамічних (гірничі удари) навантажень

Methodics elaboration in forecasting of underground work influence onto the surface objects in the integrated valuing of the action of static (settlement) and dynamic (rock impact) loading are presented.

ВВЕДЕНИЕ

При подземной разработке угольных пластов происходит оседание земной поверхности, под влиянием которого поверхностные здания и сооружения могут быть повреждены и даже полностью разрушены.

Применительно к Силезскому угольному региону проблема прогнозирования влияния подземных работ на поверхность земли в настоящее время изучается и определенным образом решается по двум направлениям. Первое – это изучение механизма оседания поверхности (формирование мульды оседания), деформаций грунта под поверхностными объектами и защита последних от указанных отрицательных явлений [1]. Второе – это изучение вредного воздействия на поверхностные объекты сейсмички горных ударов [2, 3].

Однако в практике встречаются случаи одновременного воздействия как статических (оседание), так и динамических (горные удары, вибрация) факторов, намного усложняющих картину напряженно-деформированного состояния грунта под фундаментами зданий и сооружений, водоемами и т. п. и увеличивающих опасность разрушения. Отсюда вытекает необходимость комплексной оценки всех видов воздействия для правильного решения проблемы защиты указанных объектов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При рассмотрении вопросов нарушения земной поверхности подземными работами и связанных с ними проблем защиты поверхностных объектов от разрушения (повреждения) необходимо исходить

из того, что эти объекты могут подвергаться воздействию:

- а) статических нагрузок на фундаменты, возникающих в процессе формирования мульды оседания (в особенности ее переднего фронта);
- б) динамических (сейсмических) нагрузок, как следствия подземных горных ударов;
- в) комбинированного воздействия как первых, так и вторых.

При этом наименее изученным является именно последний случай, что может быть причиной непрогнозируемых ситуаций в районах, где каждый из видов воздействий, просчитанный самостоятельно, находится в пределах допустимых параметров, а их совместное воздействие создает нагрузки и деформации выше предельных.

Сейсмические колебания возникают под влиянием выделяемой в некоторой ограниченной области, называемой очагом, энергии, которая затем рассеивается в окружающий массив в виде сейсмических волн. Достигая поверхности земли, эти волны воздействуют на объекты, изменяя их напряженно-деформированное состояние различной степени опасности (а при достижении предельных значений вплоть до разрушения). Как мы уже упоминали ранее, воздействие их может быть автономным, но зачастую сочетается с другими видами: ветровые нагрузки, вибрация от транспортных средств, напряжения и деформации при формировании мульды оседания. На сочетании с последними мы вкратце остановимся. Горные удары в среде могут вызывать два типа сейсмических волн: продольные (волны сжатия) и поперечные

(волны сдвига). На поверхности распространяется волна Рэлея и волна Лява. Оценка степени опасности сейсмических волн на поверхностные объекты осуществляется через показатель скорости (или ускорения) смещения грунта у основания сооружения (U), для чего созданы шкалы допустимых их значений в зависимости от характеристики объекта и других факторов. Кроме того, следует учитывать то обстоятельство, что интенсивность раскачки сооружения зависит (кроме других факторов) от отношения периода колебаний сейсмической волны T и периода собственных колебаний T_0 . Если T по сравнению с T_0 очень мало, то сооружение практически остается неподвижным. При T , близком к T_0 , амплитуда колебаний сооружения достигает максимума и может превышать амплитуду смещения грунта в несколько раз за счет резонанса. Интенсивность колебания при различных отношениях T и T_0 характеризуется коэффициентом динамичности βg , который показывает во сколько раз амплитуда колебания сооружения больше амплитуды смещения грунта. В общем, вредное воздействие сейсмических волн на поверхностные объекты может проявляться:

- а) посредством сообщения ему колебаний, вызывающих повреждения при сохранении прочности грунтов под фундаментами;
- б) через потерю устойчивости фундаментов при понижении несущей способности грунтов под ними;
- в) сочетанием обоих этих факторов.

Причины потери несущей способности грунтов различны: превышение давления на фронте сейсмической волны значений прочности грунта; изменение прочностных характеристик грунта за счет нарушения и изменения режима грунтовых вод; за счет резонансных явлений, о чем будет сказано ниже.

Характерной особенностью рассматриваемого вопроса является следующее: при прочих равных условиях вероятность горных ударов и их энергетический потенциал возрастает с глубиной разработки. Кроме того, в каждом конкретном случае имеется предельная глубина разработки, исключающая деформации поверхности над горными выработками. Это обстоятельство служило причиной тому, что вышеуказанные явления и их последствия изучались обособлено. На рисунке приведена схема зарождения и распространения сейсмических волн. Анализируя эту схему с точки зрения охраны поверхностных объектов от

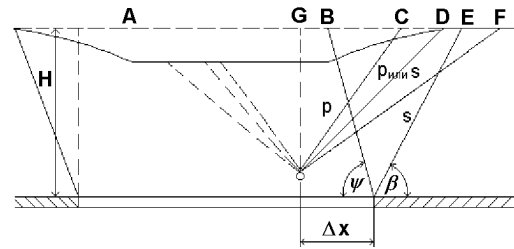


Схема комплексного воздействия на поверхностные объекты сейсмических волн и подработки

комплексного воздействия подземных работ и сейсмических волн, необходимо отметить следующее. В зависимости от глубины разработки, свойств пород и других факторов формирование мульды оседания и ее параметры будут различными, но принципиально поверхностные объекты будут находиться в трех состояниях:

- а) никак не затронуты процессом оседания (на рисунке правее точки E);
- б) под воздействием вертикальных и горизонтальных напряжений и крутящих усилий, вызванных головной частью формирующейся мульдой оседания (на рисунке участок BE);
- в) процесс оседания закончился и нагрузки на фундаменты объектов прекратились (на рисунке AB).

Теперь рассмотрим сейсмическое воздействие на эти же объекты от источника — горного удара. Если принять за основу предположение о формировании источника по гипотезе “свода давления” или “шарнирных блоков”, то этот источник формируется с некоторым отставанием от фронта горных работ (на рисунке условно на величину Δx). Начало формирования поверхностной волны начинается, как правило, за пределами основной части мульды CE , которая, исходя из геометрических построений, равна $H/\text{tg } \beta$. Таким образом, поверхностная волна воздействует на поверхностные объекты, еще не затронутые процессом сдвига грунта (либо в силу симметрии, на объекты, претерпевшие деформации и находящиеся на дне горизонтальной части мульды AB). Опасность этих волн заключается в возможности предразрушения в первом случае и доразрушения частично деформированных объектов во втором, что необходимо учитывать.

Наиболее опасным участком поверхности следует считать отрезок BE , находящийся в сложном напряженно-деформированном состоянии. Участок GC может быть подвергнут воздействию продольной волны на расстоянии от эпицентра, равном

$$\frac{V_P H}{\sqrt{V_P^2 - V_R^2}},$$

продольно-поперечной волны, охватывающей отрезок поверхности CD протяженностью

$$\frac{V_S \cdot H}{\sqrt{V_P^2 - V_S^2}} - \frac{V_P \cdot H}{\sqrt{V_P^2 - V_R^2}},$$

и, наконец, поперечной волны на отрезке DF , влияние которой скажется на участке поверхности протяженностью

$$\frac{V_R \cdot H}{\sqrt{V_S^2 - V_R^2}} - \frac{V_S \cdot H}{\sqrt{V_P^2 - V_S^2}}.$$

Здесь V_P, V_S – скорости продольных и поперечных волн;

$$V_P = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho};$$

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}};$$

λ – постоянная Ляме; μ – модуль упругости; ρ – плотность породы; H – глубина источника под свободной поверхностью; V_R – скорость поверхностной волны Рэлея, практически равна V_S , но затухает с расстоянием по закону $r^{-1/2}$.

Продольные и поперечные объемные волны будут действовать и на поверхность земли слева от эпицентра и, таким образом, находящиеся на горизонтальном дне мульды объекты будут испытывать неоднократные динамические нагрузки, которые в зависимости от их интенсивности могут представлять опасность. Как мы уже отмечали, наибольшую опасность для поверхностных сооружений сейсмические волны представляют на участке BE в случае, когда их воздействие происходит до завершения формирования мульды оседания и их деформации столь значительны, что достаточно небольших добавочных усилий для нарушения целостности.

Разумеется, выше нами изложена лишь одна из возможных схем в качестве иллюстрации механизма комплексного воздействия. В каждом конкретном случае ситуацию следует просчитать особо. Здесь представляется первоочередной задачей разработка методики прогнозирования влияния подземных работ (включая и горные удары как сопутствующее им явление), которая учитывала хотя бы важнейшие факторы,

исключающие аналитические расчеты в идеальных средах. Возможность потери устойчивости грунтов под фундаментами сооружений вытекает из следующих положений. Известно, что высокочастотные сейсмические колебания затухают значительно интенсивнее, чем их низкочастотная спектральная часть, т.е. в дальней зоне низкочастотные колебания в сейсмической волне будут преобладающими. С другой стороны известно, что в зоне, характеризуемой величинами напряжения $\sigma < 1.0$ мН/м², следует ожидать существенных структурных изменений при воздействии на структурно-пористые элементы породы определенного спектра волн, частота которых резонирует с собственной частотой колебаний составляющих скелета породы. Другими словами, при резонансном характере взаимодействия длительность воздействия низкочастотной области спектра энергии импульса взрывной волны на структурные элементы возрастает, что в конечном счете приводит к ослаблению и разрыву межмолекулярных и внутримолекулярных структурных связей и отдельных составляющих скелета и, как следствие, проявлению областей разуплотнения и повышенного уплотнения в средней зоне. В зависимости от типа грунта и его влажности собственная частота колебаний может изменяться в диапазоне от 5 до 55 Гц. Отсюда вытекает важность рассмотрения спектральных характеристик сейсмических волн с тем, чтобы прогнозировать вероятность резонансных явлений на контакте “основание фундамента – грунт”, а значит и разрушений последнего при докритических значениях динамических параметров сейсмических волн.

Таким образом, при расчете сейсмических нагрузок на сооружения и грунты оснований использование значений максимальных силовых и временных параметров сейсмических волн будет недостаточным и требуется рассмотрение амплитудно-частотного спектра.

Для этого необходимо вычислить комплексный спектр функций напряжения $S_\sigma(j\omega)$, смещений, генерируемых воздействием напряжений, т.е. $S_a(j\omega)$ и скорость смещения $S_b(j\omega)$, а также амплитудные частотные спектры этих параметров $F(\omega)$, которые представляют собой модули соответствующих комплексных спектров. Методика этих расчетов дана в [4]. Проведенные расчеты и спектральный анализ импульсов с различными силовыми и временными параметрами [5] показали, что распределение плотности амплитудно-частотного спектра импульса имеет границы f'_m и f''_m , в диапазоне между которыми выделяется

основная доля энергии. Если собственные частоты колебаний минеральной грунтовой системы близки к указанному диапазону, то за счет резонанса произойдет усиление сейсмосигнала. Согласно расчетам значения для лессового грунта нижнего предела $f'_{mГ}$ находятся в диапазоне 8–18 Гц и верхнего $f''_{mГ}$ 40–55 Гц. Задачей прогнозирования сейсмоопасности является нахождение в области частотного спектра импульса $F(\omega) = |S_u(j\omega)|$ значений f'_m и f''_m , совпадающих с характерными частотами грунтов оснований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложена одна из возможных схем механизма комплексного воздействия статических (оседание) и динамических (горные удары) нагрузок на поверхностные здания и сооружения,

находящиеся на подрабатываемых подземной выемкой угля территориях.

1. Барановский З., Вовк А. А., Кравец В. Г., Кужея Э. Вопросы защиты поверхностных зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. – К: ИГМ НАН Украины, 1996. – 116 с.
2. Baranowski Z. Zagrożenie tapaniami w kopalniach Rudzkiej Spółki Węglowej S. A. // Сб. “Проблемы гидрогеомеханики в горном деле и строительстве”. – Киев. Материалы конференции 8–10 октября 1996 г.
3. Baranowski Z., Dubiński J. i in. Geofizyczne metody oceny i kontroli zagrożenia tapaniami w kopalniach Rudzkiej Spółki Węglowej S. A. – Sosnowiec, 1996. – 216 s.
4. Кузьменко А. А., Воробьев В. Д., Денисюк И. И., Даугетас А. А. Сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М: Недра, 1990. – 173 с.
5. Вовк А. А., Барановский З., Зых Я. О влиянии подземных разработок на поверхность земли // Сб. материалов международной конференции “3-я школа геомеханики”. – Гливице-Устронь, 1997. – С. 181–193.