

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОДНОГО МАССИВА ПОД ВЛИЯНИЕМ УПРУГИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

О. А. Вовк, асп. (НТУУ "КПИ")

Наведено кількісні та енергетичні характеристики гірських ударів у шахтах Сілезького кам'яновугільного басейну. Викладено графо-аналітичний метод енергетичної оцінки гірського удару по тритиловому еквіваленту. Показано залежність динамічного модуля пружності для глин та суглинків від їх консистенції.

Современное состояние горного производства и транспортной инфраструктуры характеризуется значительным возрастанием техногенных нагрузок на окружающую среду, природные и инженерные поверхностные объекты. Существенная часть этих воздействий носит динамический характер в виде сейсмозрывных или вибрационных волновых возмущений, которые в сочетании со статическими силовыми полями ускоряют деформационные процессы вплоть до разрушения фундаментов сооружений и грунтов под ними или потери устойчивости горных склонов. Положение усугубляется тем, что ливневые дожди и талые воды сильно изменяют водный режим, снижая прочностные характеристики грунта, а звуковое облучение может привести к многократному (до 70 раз) увеличению проницаемости пород, что коренным образом влияет на их свойства.

Разработка угольных месторождений на глубоких горизонтах сопровождается таким грозным явлением, как горные удары, которые генерируют упругие волны, вызывающие на поверхности деформации грунтов под фундаментами зданий и сооружений и приводящие к их повреждению и разрушению. С увеличением глубины разработки интенсивность волн и их количество возрастает.

В табл. 1 представлены данные по количеству горных ударов на шахтах Силезского угольного бассейна за период 1980–95 гг. и их энергетическая оценка.

Высокоэнергетические горные удары приводят к человеческим жертвам, разрушению подземных выработок и поверхностных сооружений. За период 1991–95 гг. на шахтах Силезского угольного бассейна произошло 3776 горных ударов энергией от 10^3 до 10^9 Дж, в результате которых погибли 32 человека и получили травмы 154 человека. Горный удар энергией $2 \cdot 10^9$ Дж на шахте «Бойцову» в 1992 г. вызвал на поверхности повреждения 300 строений, удар энергией $3 \cdot 10^9$ Дж на шахте «Кохловице» в 1994 г. разрушил 140 зданий и сооружений. Только в течение 1999 г. на четырех шахтах бассейна произошло 16 горных ударов четвертой категории.

Таблица 1. Энергетические характеристики горных ударов на шахтах Силезского угольного бассейна

| Год | Количество горных ударов энергией (Дж) | | | | | Всего |
|----------------|--|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 10^5 | 10^6 | 10^7 | 10^8 | 10^9 | |
| 1980–84 | 12208 | 1690 | 140 | 19 | 5 | 14062 |
| 1985–89 | 7130 | 802 | 99 | 12 | 3 | 8046 |
| 1990 | 960 | 71 | 5 | 2 | 0 | 1038 |
| 1991 | 822 | 37 | 3 | 1 | 0 | 863 |
| 1992 | 719 | 53 | 7 | 0 | 1 | 780 |
| 1993 | 825 | 84 | 8 | 3 | 2 | 922 |
| 1994 | 661 | 78 | 6 | 1 | 0 | 746 |
| 1995 | 385 | 70 | 8 | 2 | 0 | 465 |
| За весь период | 25685 | 2885 | 276 | 40 | 11 | 28897 |

Очаг горного удара может находиться в кровле или почве угольного пласта, непосредственно у линии очистного забоя, над или под выработанным пространством, над угольным пластом. Вероятность возникновения горного удара возрастает с увеличением глубины разработки. Влияние глубины разработки на увеличение скорости продольной волны может определяться градиентом скорости, величина которого в диапазоне 500–1000 м составляет от 70,84 до 80,77 м/с на 100 м глубины (табл. 2). Среднее его значение в диапазоне глубин 500–1000 м составляет 0,75 м/с на 1 м глубины и может быть принято для предварительных расчетов.

Таблица 2. Значения градиента скорости продольной волны в угольном массиве

| Глубина залегания пласта, м | Скорость на глубине H , м/с | Градиент скорости волны между горизонтами, отнесенный к 100 м, м/с |
|---|-------------------------------|--|
| 500 | – | – |
| 600 | 1743,45 | 80,77 |
| 700 | 1824,22 | 77,59 |
| 800 | 1901,81 | 74,95 |
| 900 | 1976,77 | 72,74 |
| 1000 | 2049,51 | 70,84 |
| Среднее значение в диапазоне 500–1000 м | 1899,15 | 75,38 |

Как видно из табл. 2, градиент скорости уменьшается с увеличением глубины шахты (в среднем на 14 % в диапазоне 500–1000 м).

Решение задачи прогнозирования горного удара осложняется отсутствием методов оценки начальных параметров упругих возмущений вокруг его очага. Автором предложен способ оценки энергетических параметров горного

удара по тротиловому эквиваленту, что позволяет использовать для описания волновых процессов хорошо разработанный аппарат математического описания сейсмозрывных процессов. В работе [1] даны инженерные соотношения для определения основных параметров сейсмозрывных волн: максимальной скорости смещения U_{\max} , радиуса сейсмоизлучателя r_s , энергии горного удара E , радиуса безопасной зоны $r_{\text{без}}$. Выполним их расчет графоаналитическим методом. В качестве исходных приняты такие параметры: глубина возникновения горных ударов $H = 500\text{--}1000$ м; мощность наносов (суглинки, глины) 5–20 м. Требуется определить безопасное расстояние от эпицентра удара до фундамента сооружения. Была построена номограмма (рисунок), с помощью которой можно решать как прямые, так и обратные задачи при анализе взаимодействия сейсмических возмущений с поверхностными объектами. Скорость смещения грунта в продольной волне определялась по формуле

$$U_{\text{пр}} = k \left(\frac{r}{Q^3} \right)^{-2}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, учитывающий условия взрывания (для глины равен 1100, для лессовых грунтов – 130, для скальных пород – 700); Q – тротильный эквивалент; r – текущий радиус.

При преломлении волны, переходящей из скальных пород в наносы, принято нормальное ее падение (луч перпендикулярен к границе раздела, угол падения $\alpha = 0^\circ$).

Коэффициент преломления определялся из соотношения

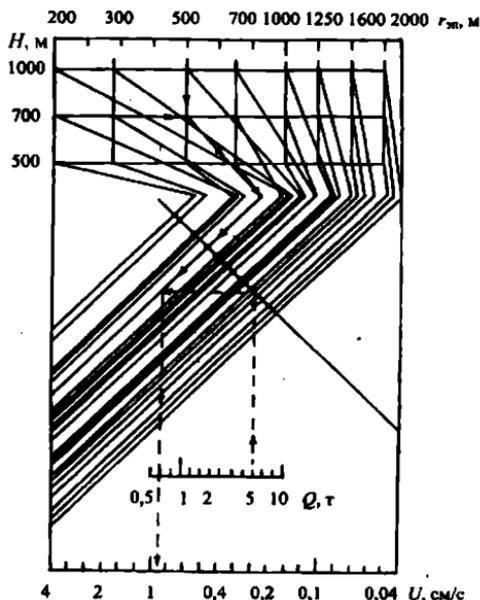
$$k_{\text{пр}} = \frac{2\rho_1 V'_{\text{пр}}}{\rho_2 V''_{\text{пр}} + \rho_1 V'_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотность скальных грунтов и наносов; $V'_{\text{пр}}$ и $V''_{\text{пр}}$ – скорость распространения продольной волны в скальных грунтах и наносах.

В качестве примера определим требуемые параметры для случая горного удара при $Q = 500$ кг, $H = 700$ м, $\rho_1 = 2700$ кг/м³, $\rho_2 = 1900$ кг/м³, $V'_{\text{пр}} = 3000$ м/с, $V''_{\text{пр}} = 800$ м/с. Тогда коэффициент преломления $k_{\text{пр}}$ согласно (2) равен 1,68.

При отражении волны от свободной поверхности ее интенсивность может возрасти в два раза, поэтому коэффициент отражения $K_{\text{отр}}$ принимаем равным 2. Тогда скорость смещения грунта будет равна 0,92 см/с. Этот пример нанесен на номограмму для иллюстрации методики ее построения. По номограмме можно определить энергетику горного удара, если известна скорость смещения грунта, грунтовые условия и глубина, на которой произошел горный удар.

Методика требует усовершенствования в направлении учета свойств скальных пород и наносов, так как в номограмме принято допущение об однородности их по всей глубине. Поэтому в дальнейшем автор планирует составление компьютерной программы, где эти допущения могут быть легко заменены набором фактических параметров или близкими к ним моделями.



Номограмма для определения эпицентральных безопасных расстояний при возникновении горных ударов

Остановимся на вопросах, связанных с воздействием вибрационных колебаний на грунтовый массив, основания фундаментов и оползнеопасные склоны. Известно [2], что длительное воздействие динамических нагрузок, вызванных движением железнодорожного транспорта, приводит к разжижению грунтов. Наибольшую часть энергии, распространяющейся в грунте от расположенных внутри массива источников динамических возмущений, несут волны, длины которых чаще всего находятся в диапазоне 10–60 м, а при низких частотах могут достигать 100 м. На удалении $0,5\lambda_R$ (λ_R – длина волны) амплитуды этих волн быстро затухают, плотность потока энергии убывает за счет геометрической, физической и локальной диссипации. При этом наиболее интенсивно убывают амплитуды колебаний высокочастотной части спектра. При частоте колебаний железнодорожного земляного полотна 30–40 Гц амплитуды колебаний изменяются в пределах 0,03–0,09 мм, среднее ускорение колебаний грунта при скорости движения 60–80 км/час достигает 1500 мм/с^2 .

При движении автотранспорта весом до 17 т в полотне автострады генерируются низкочастотные колебания частотой порядка 1–4 Гц, амплитудой до 10 мкм и ускорением порядка 1 мм/с^2 . Следует отметить, что величина ускорений, при которых снижается прочность грунтов, значительно выше. Однако длительные динамические воздействия даже незначительной

интенсивности приводят к снижению прочностных свойств грунта и потере устойчивости основания. Это явление получило название динамической усталости грунта, а предельная величина сопротивления грунта при бесконечно длительном ее действии – динамической длительной прочностью. Величина ее зависит от гранулометрического состава грунта, его водонасыщенности и плотности, динамических параметров и характера действия нагрузки. Известно, что при действии только статических нагрузок длительная прочность составляет 50–60 %, при действии динамических нагрузок – до 25–30 %. Данный фактор чрезвычайно важен при рассмотрении механизма созревания оползня в процессе дезинтеграции горных пород вблизи склона. В естественных условиях этот процесс определяется деформацией массива путем формирования границы, отделяющей некоторый объем горной массы (тело оползня), вблизи которой локализуется сдвигающая деформация. Если динамическое воздействие вибрации будет достаточно продолжительным, процесс созревания оползня может быть значительно ускорен, а в сочетании с повышенной обводненностью массива сопротивление сдвигу по границе может резко упасть и тело оползня начнет интенсивное движение. При определении коэффициента устойчивости склона E_r с учетом динамической составляющей следует иметь в виду, что динамический модуль упругости изменяется в зависимости от влажности грунта, выражаемой через показатель консистенции J и величины постоянной статической нагрузки $\sigma_{ст}$ и определяется по следующим эмпирическим соотношениям, полученным для глин при $J \geq 0,7$ и для суглинков при $J \geq 0,5$:

$$E_r = (19,2 - 9,4 J) \sigma_{ст} + (520 J - 720) \sigma_{ст} + 12000 \text{ [кПа]}; \quad (3)$$

$$E_r = (6,67 - 3,33 J) \sigma_{ст} + (1066 J - 336) \sigma_{ст} + 18000 \text{ [кПа]}. \quad (4)$$

Количественные соотношения динамических параметров сейсмических или вибрационных упругих возмущений и прочностных характеристик грунтов в теле оползня являются предметом специальных исследований и в настоящей работе не рассматриваются. При рассмотрении вопроса взаимодействия этих возмущений с грунтами оснований фундаментов следует учитывать возможность резонанса низкочастотных полос спектра с собственной частотой колебаний грунта, которая в зависимости от типа грунта находится в диапазонах 8–18, 5–10 Гц. Амплитудно-частотный спектр имеет две характерные частоты, вторая из которых находится для этих грунтов в пределах соответственно 40–55 Гц и 30 Гц. Если сравнить эти данные с приведенными выше частотами, возбуждаемыми движущимся железнодорожным или автомобильным транспортом, можно видеть, что вероятность резонансных явлений достаточно велика, поэтому потеря несущей способности грунта в основании фундаментов возможна и при динамических воздействиях, намного ниже критических. Особо следует опасаться длительных многократных вибронгрузок, способных вызывать как разжижение, так и динамическую усталость грунта.

Ети питання знаходяться на початковій стадії вивчення і повинні стати предметом подальших досліджень.

Висновки

По мірі збільшення глибини розробки вугільних родовищ кількість і енергетика горних ударів зростає, зазвичай набуваючи катастрофічний характер, що вимагає внесення корективів в технологію ведення підготовчих і очистних робіт і здійснення комплексу заходів по локалізації або зниженню інтенсивності сейсмічного впливу на фундаменти будівель і споруджень на поверхні. С зростанням динамічних параметрів впливу транспортних засобів на дорожні магістри необхідно враховувати фактор вібраційних навантажень на ґрунт у основанні фундаментів і на оползнео небезпечних горних схилах, особливо при підвищеній вологості ґрунтів.

1. *Сейсмічне діяння вибуху в горних породах* / А. А. Кузьменко, В. Д. Вороб'єв, І. І. Денісюк, А. А. Дауєтас. – М.: Недра, 1990. – 173 с.

2. *Тимофєєва Л. М., Тимофєєв М. Р., Гольдштейн В. М.* О динамічних впливах рухомого складу на стійкість водонасичених основань тунельних обделок метрополитенів // Сб. матер. міжнародної конференції «Проблеми і перспективи освоєння підземного простору великих міст». – Дніпропетровськ, 1997. – С. 52–56.

3. *Резніков О. М., Поздняков В. Д.* Упругий динамічний модуль слабких ґрунтів // В сб. тезисів ІV Всесоюзної конференції «Динаміка основань, фундаментів і підземних споруджень». – Ленінград, 1985. – С. 262–263.

УДК 622.235.2

ПРО ДОДАТКОВІ РУЙНУВАННЯ НА МЕЖІ ПОДІЛУ СЕРЕДОВИЩ ЗА РАХУНОК ЕФЕКТУ ПОВНОГО ВНУТРІШНЬОГО ВІДБИТТЯ ХВИЛЬ

Л. О. Мітюк, канд. техн. наук (ННДІОП)

С допомогою алгоритма, заснованого на використанні лучового методу, досліджується ефект повного внутрішнього відбиття подовжніх хвиль на межі розділу пружних серед. Показано, що при збіганні швидкості поширення хвиль в одній середі і швидкості пружних хвиль в другій середі на межі розділу серед стремляться до нескінченності, що може викликати додаткові руйнування.

Задача про взаємодію ударних хвиль на межах поділу пружних і рідких середовищ виникають не тільки в практиці проведення підземних робіт на