

АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЙ КОНТУРОВ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Вопрос обеспечения устойчивости подземных сооружений является не менее важным, чем устойчивости наземных зданий и сооружений. В некоторых случаях в связи с производственной необходимостью подземные сооружения строятся ближе к поверхности земли. При глубоком заложении устойчивость подземных сооружений осложняется гравитационными и тектоническими аномальными силами, горными ударами и т.д. Поэтому нельзя однозначно утверждать об устойчивости подземных сооружений в зависимости от глубины заложения. Подземные сооружения мелкого заложения подвергаются разрушению от больших деформаций. Эти вопросы проявляются только после проведения всесторонних научных исследований. Немаловажным вопросом изучения обеспечения устойчивости подземных сооружений от разрушений, кроме случаев взрывов из-за внезапного выброса метана, являются исследования типов и характеров разрушений вследствие воздействия гравитационных и тектонических сил.

Только в последние годы в казахстанских шахтах имело место печально большое количество человеческих жертв. Например, в 2006 году 20 сентября на шахте им. Ленина Карагандинской области погибло 43 человека. Взрыв на шахте «Абайская» АО «АрселорМиттал Темиртау», произошедший 11 января 2008 года, унес 30 человеческих жизней. В Кузбассе 19 марта 2007 г. погиб 71 шахтер. В результате взрыва в шахте в Шаньси 22 февраля 2009 г. погибли 74 человека.

Некоторые характерные формы деформации земной поверхности над разрушенными подземными сооружениями, типы разрушения контуров незакрепленных горных выработок и элементов крепей закрепленных выработок от геостатических тектонических сил показаны на рис. 1-4. На рис. 5 показана одна из причин разрушений – пожары.

Тектонические причины таких разрушений исследованы в работах /1, 2/.

Данные о разрушениях вследствие землетрясения в зависимости от особенностей конструкции и типа окружающих горных массивов, собранные из литературных источников, систематизированы в виде табл. 1. Здесь же показаны магнитуды и интенсивность некоторых землетрясений в баллах. Существуют шкалы измерения интенсивности: MSK – 12-балльная и Рихтера – 8. По крайней мере, в странах СНГ все еще применяется шкала MSK. Магнитуда M является наиболее важным параметром землетрясения.

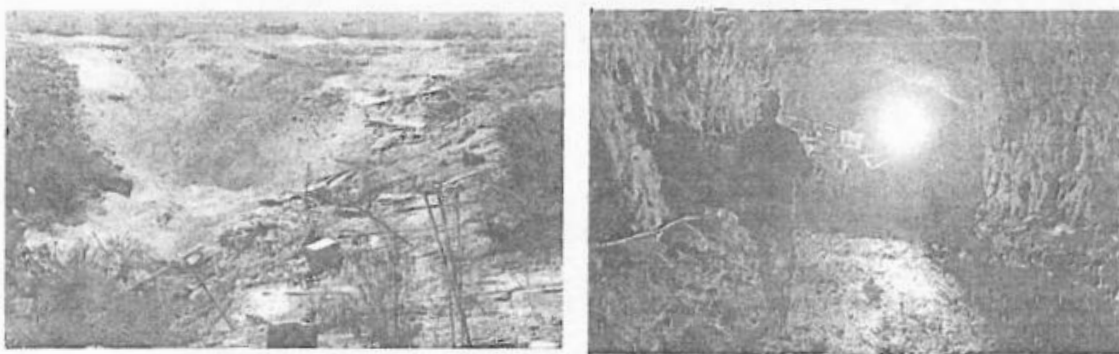


Рис. 1. а – вид шахты Абайская в Казахстане, б – разрушение боковых почвенных областей незакрепленной выработки /3/

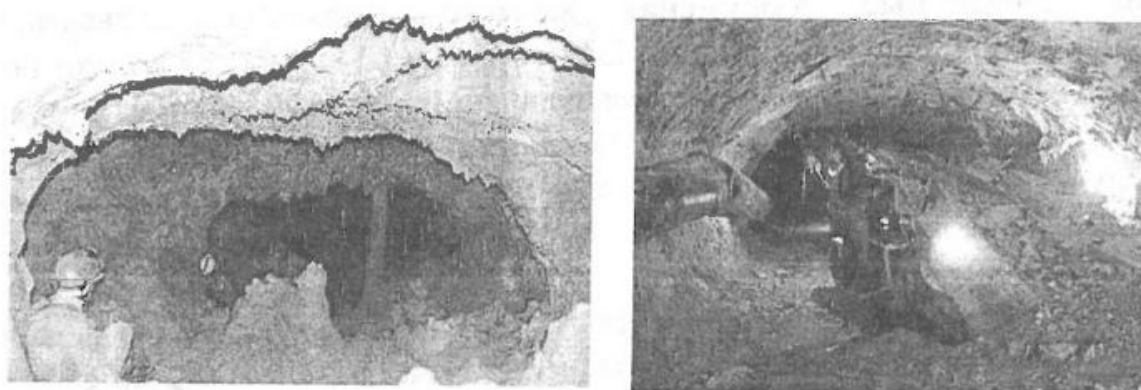


Рис. 2. а – разрушение стенок грота в пещере Синдибобель в результате воздействия тектонических сил, б – несимметричное разрушение стенок незакрепленной выработки шахты «Красная шапочка» в Свердловской области /4/

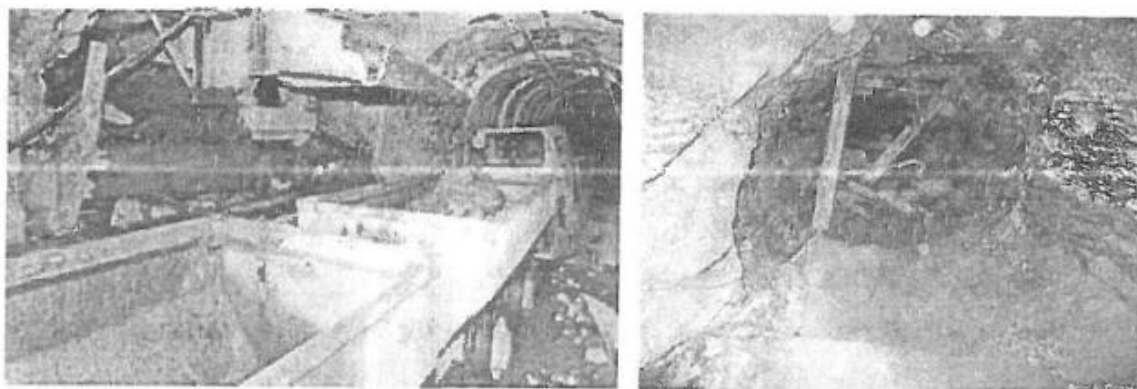


Рис. 3. а – разрушение горного массива вблизи крепи в шахте им. Ленина Карагандинской области Казахстана, б – разрушенные крепи выработки и вид деформации ее контура

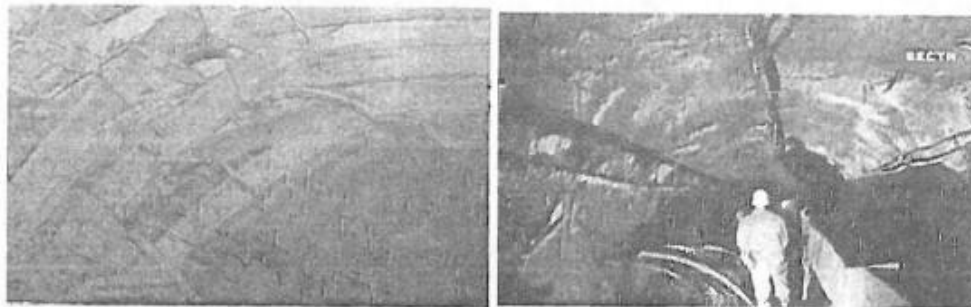


Рис. 4. а – разрушения висячей области крепи выработки, б – обрушенный правый бок крепи горной выработки /5/

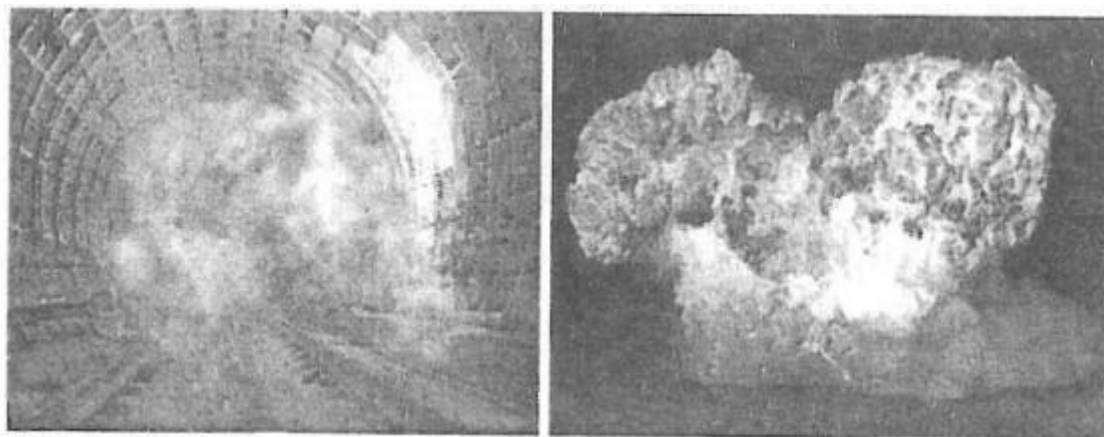


Рис. 5. Пожары в подземных сооружениях

Через него по уравнениям макросейсмики Р.Рихтера, Б. Гутенберга, Т.Г. Раутиан и Н.В. Шебалина /9/ вычисляются энергетические классы, сейсмический момент, подвижки, энергии очага и интенсивности землетрясении для разных расстояний. Обзор разрушений подземных сооружений от землетрясений систематизирован в табл. 1.

Первые сведения по разрушениям подземных сооружений связаны с Калифорнийским землетрясением (18.04. 1906 г, магнитуда 8, 9, 10 баллов по шкале MSK). В зону разлома попали два тоннеля. Часть тоннеля была смещена к северу на 2,4 м. Припортальная часть этого тоннеля, имевшая обделку из каменной кладки толщиной около 42 см, была разрушена на протяжении 8,5 км /10/. Хронология исследований такова: систематический сбор и анализ сведений о поведении подземных конструкций при разрушительных землетрясениях впервые проведены при изучении последствий Японского землетрясения 1923 г. в г. Канто (01. 09. 1923 г., магнитуда 8,2) (табл. 1)/11/. В этом землетрясении были повреждены 82 из 116 тоннелей (трещины, разломы, обвалы, деформации и разрушения). В тридцатых годах также были собраны материалы о деформации подземных трубопроводов при землетрясениях в других регионах. Во время землетрясения на полуострове Идзу (Япония, 20.11. 1930 г. Магнитуда 7,1) поврежден тоннель длиной 7,8 км. Тоннель заложен на глубине 150 м, в илистом грунте (максимальная глубина заложения 230 м).

Таблица 1

Данные о повреждениях подземных сооружений во время землетрясений по работам /6-9/.

Землетрясения	Тоннели	Степень разрушений	Породы
США, Сан-Франциско, 18.04, 1906 г, М=8,3, 10 баллов.	8,5 км	Смещение от оси на 2,4 м. Толщина обделки 42 см, каменная кладка	Серпентинит, диабаз
Япония, г. Канто, 01. 09. 1923 г., М=8,2.	82 из 116 тоннелей 13 км.	Трещины, разломы, обвалы и деформации	Аллювиальные илистые грунты
Япония, полуостров Идзу, 20.11. 1930 г. М=7,1.	7,8 км, глубина 150–230 м.	Смещение обделки влево и вниз на 2,44 м	Глинисто-илистый грунт
Чили, Анды, 06.04. 1943 г., М=8,3.	–	Значительные повреждения	Скальные породы
США, Калифорния, 21.07.1952 г., М=7,7. 22.08.1952 г. М=5,8.	–	Полностью разрушены 4 из 15 тоннелей	–

Анкориджское землетрясение, Аляска 27.03.1964 г. М=8,4.	–	Повреждены 11 тоннелей на расстояниях 90–150 км от эпицентра	Метаморфические и осадочные горные породы
Ташкентское землетрясение 26.04.1966 г. 8 баллов.	Стыки 198 чугунных и 108 керамических труб	Разрушения – трещины, переломы керамических, железобетонных и асбоцементных труб	Глины, лессовидные суглинки, неуплотненные грунты
Газлийское землетрясение 08.04.1976. М=7, 17.05. 1976. М=7,3, 8-9 баллов.	Около 300 труб	Трещины, раздвижки, смещения и деформации	Различные осадочные грунты
Баткено-Исфаринское землетрясение, г. Шураб. 31.01.1977. М=6,5.	1.Шахта №8, глубина 326 м 2.Западный полевой штрек 3.Шахты №1–2	Вывалы до 0,5 м ² , трещины в бетонных креплениях до 12 мм ² . Металлическая крепь – деформация, деревянная крепь – разрушение Тяжелые повреждения: значительные деформации металлической крепи, вывалы бетонов до 6 м ² , трещины до 70-80 мм	Глинистый грунт, гравелит, песчаник песчаники, сланцы
Японское землетрясение Кобэ, 1995 г. М=7,3.	Наземные и подземные сооружения	24 станции метрополитена были повреждены и разрушены 150 000 зданий	разные

Японское землетрясение Фукусима, 11 марта 2011 г. М=9,0. 8-9 баллов. Сильно пострадали префектуры Фукусима, Мияга, Тиба, Аомори, Ибараки, Иватэ, Ниигата, Тотиги, Сайтама, Гумма. Цунами, пожары, наводнения, разрушения атомных электростанций.	Пострадало Токийское метро: линии Гиндза, Хандзомон, Оэйоэдо и другие	Только в одном Токио пострадали 4 000 000 зданий. Разрушены здания в Иокогаме, Хашинохэ, Корияма, Иваки, Минами-Санрику, Хигаши-Матсushima, Минамисома, Офунато, Сендай, Курихара, Рикузентаката и др. Ущерб 309 миллиардов долларов.	Грунты разные. Полгода ушло только на вычистку мусора от разрушений в городах. По тогдашним прогнозам на восстановление разрушенных городов Японии потребуется десять лет.
--	---	---	--

Главная трещина дала смещение обделки влево и вниз на 2,44 м. Некоторые сведения о переходе горного массива в пластическое состояние, предшествующее разрушению различных типов подземных сооружений и трубопроводов, имеются также в работах /12, 13/. На основе анализа повреждения 71 подземного сооружения от землетрясений Ч. Даудин предлагает оценить их пятью категориями: 1 – смещения по контактам; 2 – общее искривление; 3 – локальные трещины; 4 – растрескивания и обрушения горных пород и 5 – частичное обрушение.

Подземные конструкции и сооружения при сильнейших землетрясениях разрушались во время землетрясения в Кобе (Япония) 1995 года с магнитудой 7,5. В сообщениях Н.Hlida, Т.Hirota, N.Yoshida, M.Zwafuji, а также K.Ishihara /11-13/ описывают различные объекты, претерпевшие значительные повреждения вплоть до полнейшего разрушения. Так, например, на рис. 6 показаны разрушения не только кровли и боков, но и были разрушены колонны станции Daikai метрополитена в городе Кобе, хотя станция заложена довольно глубоко на 50 м от земной поверхности /11 -13/.

Общий анализ показывает, что во время сильных землетрясений подземные сооружения могут разрушаться как при мелких, так и при глубоких заложениях, а также в толщах грунтов и в скальных породах. Факторы, влияющие на разрушения, многообразны. Прочность элементов конструкций или креплений зависит не только от применяемых материалов, но и от физико-механических свойств окружающего массива. Тем не менее, можно заметить два характерных момента. Подземные сооружения глубокого заложения разрушаются вследствие динамических напряжений, превосходящих предел прочности материалов креплений. Трубопроводы обычно пролегают в нескольких метрах от земной поверхности, часто в насыпных грунтах.

Поскольку жесткостные свойства насыпного грунта (лессы, суглинки, галечники и т.д.) на два, три порядка меньше по сравнению с жесткостью горных пород, то можно полагать, что трубопроводы разрушаются, скорее, от больших деформаций.

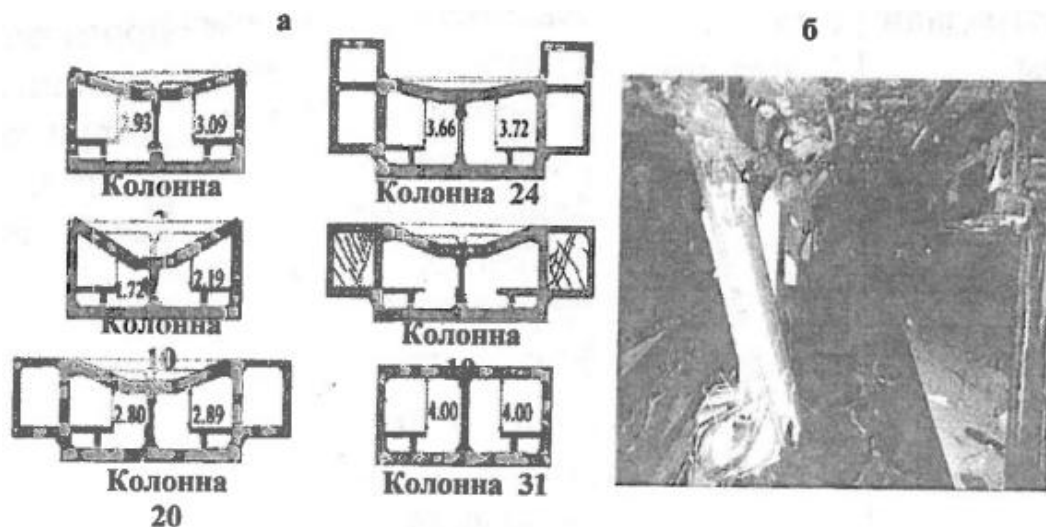


Рис. 6. Разрушенные: а – кровли, бока и б – колонны станции Daikai метрополитена в городе Кобе

Список литературы

1. Hast N. The state of stresses in the upper of the Farthes crust // Tectonophysics. – 1969 – V.8. – №3.
2. Айтматов И.Т. О распределении естественных напряжений в породных массивах верхней части земной коры // Горная наука в Кыргызстане в XX веке. – Бишкек: Илим, 2000. – 378 с.
3. www.rosbalt.ru
4. <http://vershina-tour.narod.ru/p38.htm>
5. <http://www.donbasskrep.com.ua/index9.html>
6. Комплексная оценка сейсмической опасности // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 32. – 1991. – С. 188.
7. Reports of the Imperial Earthquake Investigation Committee. №100, d.Tokyo, 1926.
8. Штейнбругге К.В., Моран Д.Ф. Инженерный анализ последствий землетрясений 1952 г. в Южной Калифорнии. – М., 1957. – С. 270.
9. Рашидов Т.Р., Дорман И.Я., Ишанходжаев А.А. и др. Сейсмостойкость туннельных конструкций метрополитенов. – М: Транспорт, 1975.– С. 120.
10. Сейсмостойкость транспортных сооружений // Междуведомственный совет по сейсмостойкому строительству АН СССР. – М., Наука, 1980. – С. 127.

11. Iida H., Hirota T., Yoshida N. and Iwafuji M. Damadge to Daikai Subway Station. //Soil and Foundations, Special Issue, pp.283-300.
12. Ishihara K. Geotechnical Aspects of the 1995 Kobe Earthquake. //Terzaghi Oration 14th ICSMFE, Hamburg, 1997, p. 1-26.
13. Ishihara K. Performance of tunnels and underground structures during earthquakes. //International Conference on Soil-Structure Interaction in Urban Civil Engineering. 8-9 October 1998, p. 19-31.