

ТЕХНОГЕННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Н.В. Хозяйкина, Б.С. Солдатова, А.В. Хозяйкин, Государственное высшее учебное заведение
«Национальный горный университет», Украина*

В статье рассмотрены причины возникновения проблемы масштабных природных тектонических нарушений, которые обладают естественным, техногенным и совместным характером. Представлены основные причины возникновения проблем, которые могут привести к природно-техногенным катастрофам. Обозначен путь решения техногенной проблемы путем организации мониторинга и предупреждения чрезвычайных ситуаций в Криворожском бассейне.

Обоснована актуальность проблемы защиты зданий и сооружений от сейсмических воздействий. Ранее запроектированные и построенные здания и сооружения без учета сейсмических воздействий представляют собой огромную потенциальную опасность, в случае изменения сейсмичности территории в сторону её увеличения.

Введение. Влияние человека на природу многогранно и, как правило, оно не остается безответным. В последние несколько десятилетий некоторые виды человеческой деятельности влекут за собой возникновение чрезвычайных ситуаций, в том числе и катастрофического характера. Например, техногенная деятельность во многих отраслях промышленности достигла таких масштабов, что способна радикально изменить состояние земной коры и вызвать серьезные изменения искусственного происхождения в виде техногенных землетрясений. Первенство в провоцировании техногенных землетрясений утвердилось за гидротехническими сооружениями, затем проявила себя добыча нефти и газа. В последние годы сигналы опасности техногенных катастроф уверенно заявили о себе при добыче полезных ископаемых в виде возникновения мощных горных ударов [1].

Поэтому, в горнодобывающих районах, одной из наиболее значимых становится проблема техногенной сейсмичности.

Техногенными, или антропогенными, называют различные по своей природе, механизму, длительности и интенсивности воздействия на объекты литосферы, возникающие в результате хозяйственной деятельности человека. Антропогенное воздействие на геологическую среду по размерам и масштабам проявления вполне сопоставимо с естественными процессами экзогенной геодинамики. Разница заключается только в скорости протекания процесса. Если геологические процессы протекают медленно и растягиваются на сотни тысяч и миллионы лет, то скорость воздействия человека на среду укладывается в десятки лет. Это одна из отличительных особенностей, характерная для антропогенной деятельности, стремительное нарастание процессов воздействия. [2].

Антропогенное воздействие на геологическую среду характеризуется комплексностью проявлений:

1) техногенное разрушение (дезинтеграция) толщ горных пород, слагающих геологическую среду. Это действие в природных условиях осуществляют процессы выветривания, поверхностные и подземные воды и ветер;

2) перемещение дезинтегрированного материала. Это аналог транспортировки в процессах экзогенной геодинамики;

3) накопление перемещенного материала (дамбы, плотины, транспортные артерии, населенные пункты и промышленные предприятия). Это аналог аккумуляции осадков, их диа- и катагенеза [2].

В процессе добычи твердых полезных ископаемых производятся различные по характеру и объему горно-геологические работы. В процессе добычи твердых полезных ископаемых толщи горных пород дезинтегрируются и удаляются из земных недр. Такие же действия производятся при сооружении котлованов под жилые здания и промышленные предприятия,

во время выемок при сооружении транспортных магистралей, во время сельскохозяйственных работ, в процессе строительства гидро- и тепловых электростанций и других работ. В результате антропогенной деятельности верхняя часть земной коры разрушается, нарушаются структура массива пород и установившиеся в нем связи. При этом дробятся и измельчаются некогда твердые горные породы. При извлечении горных пород и полезных ископаемых образуются наземные и подземные пустоты [2].

Актуальность исследований. Проблема техногенной сейсмичности актуальна для многих стран с развитой горнодобывающей промышленностью. Практика эксплуатации многих рудников показывает, что некоторые сейсмические события представляют серьезную угрозу для горных работ, так как их очаги располагаются в непосредственной близости от горных выработок. Такие сейсмические события называются горнотехническими ударами [1, 3]. Горные удары вызывают разрушение горных выработок и целиков на больших площадях, вследствие чего приносят ущерб оборудованию рудников, нарушают устойчивость зданий и сооружений и подвергают опасности человеческие жизни.

Анализ имеющихся данных свидетельствует о том, что горные удары проявляются на всех месторождениях, где выявлены аномально высокие естественные напряжения в массиве, вне зависимости от типа тектонической структуры (стабильные щиты, подвижные платформы, мобильные горно-складчатые области) [1, 4]. Основная гипотеза происхождения горных ударов лежит в плоскости повышенного напряженного состояния пород и высвобождения избыточной энергии горного давления [1, 5]. Для горных ударов характерно также то, что они возникают при работе исполнительных механизмов - комбайнов и другой техники, оказывающей на массив динамическое (вибрационное) воздействие. Наиболее сильным примером, по мнению ряда ученых, является Чернобыльская авария, где присутствуют все элементы техногенных землетрясений. Авария произошла в ходе изменения режима работы турбин, и развитие ее началось с толчка, который зарегистрировали сейсмологи. Этот толчок и был техногенным землетрясением, который как раз и разрушил все системы жизнеобеспечения реактора [1, 6].

Таким образом, техногенное землетрясение, вызванное ведением горных работ - это геодинамический феномен, проявляющийся в виде сейсмического толчка, вызывающего хрупкое разрушение выработок и целиков полезного ископаемого, перестройку структурных блоков и сопровождающийся сильным сотрясением массива горных пород, резким звуком, образованием воздушной волны в выработках.

Опасность техногенных землетрясений, усугубляется их проявлением в экономически освоенных районах с экологически опасными объектами. В этом отношении особую тревогу вызывает состояние горных разработок в Кривом Роге. Это одно из крупнейших и старейших месторождений. Криворожское месторождение железной руды представляет собой существенно техногенно нагруженный регион. В результате ведения горных работ из недр ежегодно извлекается до 130 млн. тонн горной массы, до 60 млн. м³ вскрышных пород, откачивается до 10 млн. м³ воды. При массовых взрывах одновременно взрывается до 800 тонн взрывчатки [7].

По прогнозным оценкам сложившаяся ситуация в регионе перешагнула критический уровень воздействия, за которым может последовать техногенная катастрофа.

Территория Кривбасса в геологическом отношении характеризуется сложным разломно-блоковым строением, находится в зоне влияния разлома первого порядка и разбита на блоки разломами более низких порядков (рис. 1). Изначально, данный регион в целом сейсмически не активен.

При этом вследствие перемещения огромных масс горных пород и воды, образования пустот в недрах, динамического воздействия от взрывных работ происходит изменение начального поля напряжений, способное привести к перемещению геологических структур и возникновению техногенного землетрясения.

На рис. 1 представлена схема тектонических структур Украинского щита, его разломно-блоковое строение.



Рис. 1. Схема основных тектонических структур Украинского щита [Статья Ш.П.]

Прямоугольником выделена область тектонических блоков криворожского района, который находится в зоне влияния разлома первого порядка. Разломы блоков более низкого порядка Криворожского района представлены на рис. 2.

Эти нарушения формируют структуру в виде блоков размерами от 5-7 до 15-20 км², которые оконтурены зонами открытой трещиноватости, лишаящие блоки жесткого сцепления и снижает сейсмическую устойчивость всей структуры [7]



Рис. 2. Схема расположения Криворожского железорудного бассейна по отношению к геологическому разлому I-го порядка

Таким образом, основными причинами возникновения проблем, которые могут привести к природно-техногенных катастроф являются:

- значительное нарушение земной поверхности и развитие эндогенных и экзогенных геологических процессов и оползней, провалов, просадок земной поверхности и неотектонических процессов (разломов земной коры и движений блоков);
- складирование огромных объемов твердых и жидких отходов;
- образование пустот при подземной отработки запасов руды;
- нарушение естественного гидрогеологического режима региона вследствие откачки шахтных и карьерных вод из горных выработок и эксплуатации гидротехнических сооружений предприятиями горнодобывающего комплекса.

Основная часть. Проблема может быть решена только путем организации мониторинга и предупреждения чрезвычайных ситуаций в Криворожском бассейне.

В случае техногенно нагруженной территории Кривбасса решение проблемы предполагает четыре этапа [7].

I этап. Построение на основе геофизических и геодезических исследований модели сейсмогенерирующих структур как основы районирования территории, определения зон вероятного протекания опасных геодинамических явлений.

II этап. Создание сети локального прогноза геодинамических явлений на основе адаптированной для условий Кривбасса акустической аппаратуры.

III этап. Организация мониторинговых наблюдений.

IV этап. Создание динамической 3D-геомеханической модели отработки месторождения.

Фактически, выполнение работ этих этапов позволят дать ответ на вопрос, где наиболее вероятно возникновение техногенных землетрясений.

Получаемые при этом результаты играют важную роль, как при ведении горных работ, так и при эксплуатации опасных в техногенном отношении объектов (зданий, сооружений, дамб, шламохранилищ, доменных печей, коксовых батарей, электростанций, газопроводов и т.п.).

Оказываемое сейсмическое воздействие на здания и сооружения на поверхности является весьма существенными. Поскольку здания и сооружения были построены давно, а регион сейсмически активным стал считаться недавно, то меры для усиления и сейсмозащиты от сейсмических воздействий не были предусмотрены. Можно утверждать, что такие сооружения, представляют огромную опасность для жизни населения.

В связи с проявлениями сейсмической активности, влияющей на деформации зданий и сооружений в регионе нужно уже сейчас применять способы сейсмозащиты с расчетной оценкой их эффективности, согласно действующего ДБН В.1.1.12-2006.

Общая классификация систем сейсмозащиты может быть представлена в виде схемы, показанной на рис. 3 [8].

Как видно из представленной выше схемы сейсмозащита подразделяется на традиционную и специальную.

Традиционные методы и средства защиты зданий и сооружений от сейсмических воздействий являются в настоящее время основными в практике строительства. Они включают большой комплекс различных мероприятий, направленных на повышение несущей способности строительных конструкций, проектирование которых осуществляется на основании выработанных отечественным и зарубежным опытом строительства норм и правил, гарантирующих сейсмостойкость зданий и сооружений в районах с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов. Традиционные методы в основном связаны с уменьшением массы конструкций, повышением их прочностных и жесткостных характеристик, а также с выбором рациональных конструктивных и планировочных решений.

В свою очередь специальная сейсмозащита подразделяется на активную и пассивную.

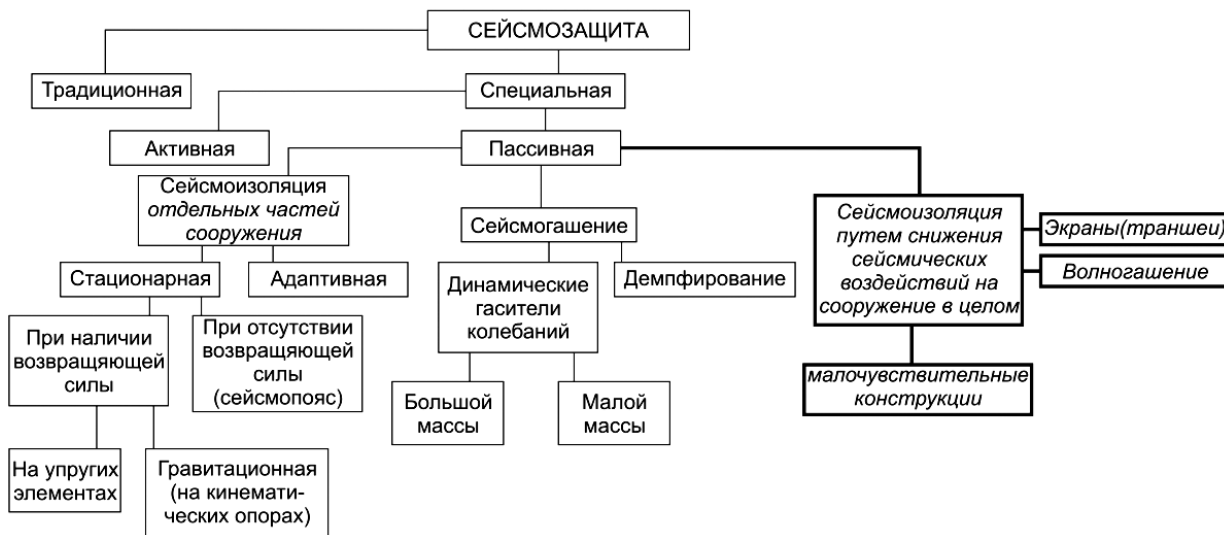


Рис. 3. Классификация систем сейсмозащиты по принципу их работы

Системы активной сейсмозащиты. В современном сейсмостойком строительстве исключительно актуальное значение приобретает обеспечение надежности зданий и сооружений при условии рационального расхода дополнительных материалов, средств и трудозатрат.

Традиционный способ обеспечения сейсмостойкости сооружений предусматривает повышение несущей способности конструкций за счет увеличения их размеров и прочности материалов, а в зданиях с несущими кирпичными стенами применение антисейсмических поясов, железобетонных включений, дополнительного армирования простенков, пересечения продольных и поперечных стен, все это требует существенного увеличения количества строительных материалов и средств.

Увеличение количества материала ведет к увеличению жесткости и веса сооружения, что в свою очередь вызывает увеличение инерционных нагрузок.

Активный метод позволяет снижать сейсмические нагрузки на здание посредством регулирования их динамических характеристик во время колебательного процесса при землетрясении. Регулирование динамических параметров осуществляется таким образом, чтобы избежать резонансного увеличения амплитуд колебаний сооружения, или, по крайней мере, понизить резонансные эффекты.

Изменение динамической жесткости или частот (периодов) собственных колебаний при землетрясении может быть достигнуто с использованием специальных конструктивных устройств, таких, как скользящие пояса, выключающиеся связи, гасители колебаний, кинематические фундаменты, свайные фундаменты, обладающие повышенными диссипативными характеристиками, равно-связевые системы с составными диафрагмами жесткости, резино-стальные цилиндрические опоры и пр.

Основным условием эффективной работы таких систем является удаленность частот их собственных колебаний от преобладающих частот сейсмического движения грунта основания сооружения [9].

Системы пассивной сейсмозащиты. Проектирование зданий и сооружений в сейсмически опасных районах начинается с соблюдения общепологающих принципов сейсмостойкого строительства, в соответствии с которыми все используемые строительные материалы, конструкции и конструктивные схемы должны обеспечивать наименьшее значение сейсмических нагрузок.

Рекомендуется при проектировании принимать, как правило, симметричные конструктивные схемы и добиваться равномерного распределения жесткостей конструкций и масс. Следует соблюдать требование равной прочности элементов несущих конструкций, не должны допускаться слабые узлы и элементы, преждевременный выход которых может

привести к разрушению сооружения, до исчерпания несущей его способности. В зданиях и сооружениях из сборных элементов рекомендуется располагать стыки вне зоны максимальных усилий, необходимо обеспечивать однородность и монолитность конструкций за счет применения укрепленных сборных элементов. В конструкциях и их соединениях следует предусматривать условия, облегчающие развитие пластических деформаций, обеспечивающие при этом общую устойчивость сооружения.

Существенное влияние на сейсмостойкость зданий оказывает выбор объемно-планировочных схем, их формы и габаритов. Анализ последствий сильных землетрясений показывает, что наиболее предпочтительными формами сооружений в плане являются круг, многоугольник, квадрат и близкие им по формам очертания. Такие здания находятся в лучших условиях с точки зрения возникновения в них крутильных колебаний. Однако такие формы не всегда соответствуют требованиям планировки, поэтому чаще всего применяется прямоугольная форма с параллельно расположенными пролетами, без перепада высот смежных пролетов и без входящих углов. В случае, если возникает необходимость создания сложных форм в плане здания, то его следует разрезать по всей высоте на отдельные замкнутые отсеки простой формы.

Конструктивные решения отсеков во время землетрясения должны обеспечивать независимую работу каждого из них. Достигается это устройством антисейсмических швов, которые могут быть совмещены с температурными или осадочными. Кроме этого, здания разделяются антисейсмическими швами в том случае, если его смежные участки имеют перепады высот 5 м и более (при расчетной сейсмичности 7 баллов допускается в одноэтажных зданиях высотой до 10 м антисейсмические швы не устраивать).

Лестничные клетки в зданиях предусматривают закрытыми с оконными проемами в наружных стенах. Расположение и количество определяются расчетом в соответствии с нормативными документами по противопожарному проектированию; рекомендуется принимать не менее одной лестничной клетки между антисейсмическими швами.

В многоэтажных зданиях большую роль на их сейсмостойкость оказывают конструкции междуэтажных перекрытий, работающих как диафрагмы жесткости, обеспечивающие распределение сейсмической нагрузки между вертикальными несущими элементами. Сборные железобетонные перекрытия и покрытия зданий должны быть замоноличенными, жесткими в горизонтальной плоскости и соединенными с вертикальными несущими конструкциями [10, 11, 12, 13].

Таким образом, применение элементов пассивной сейсмозащиты приводит к увеличению сечений конструктивных элементов, что в свою очередь приводит к увеличению жесткости и веса сооружения. Это вызывает возрастание инерционной (сейсмической) нагрузки, и, следовательно, чтобы воспринять её, следует еще раз пересмотреть размеры сечений несущих конструкций. Процесс этот, в конце концов, может и не привести к повышению сейсмостойкости сооружения [14].

В свою очередь, активная и пассивная сейсмозащиты включают ряд дополнительных мероприятий по обеспечению необходимой жесткости зданий и сооружений (см. рис. 3).

Выводы. Проблема техногенной сейсмичности при разработке месторождений полезных ископаемых является чрезвычайно актуальной и требует ее комплексного решения с учетом технических и эколого-правовых аспектов, что позволит повысить эффективность и безопасность ведения горных работ, эксплуатации зданий и сооружений.

Одним из путей решения проблемы является геофизический мониторинг состояния техногенно нарушенного породного массива, и создания на этой основе 3D - геомеханической модели, что позволит оценить эффективность принимаемых решений.

Для предупреждения разрушения зданий и сооружений на территории Кривого Рога следует произвести их паспортизацию и определить способы их усиления, рассчитанные на случай техногенного землетрясения.

Список литературы

1. Нурмагамбетов А. Техногенные сейсмические явления, связанные с разработкой и эксплуатацией месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа / А. Нурмагамбетов // Журнал «Геология и охрана недр». – 2010. – № 1(34).
2. «Последствия антропогенного воздействия на геологическую среду», 2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.polnaja-jenciklopedija.ru>
3. Ловчиков А.В. Горно-тектонические удары на Левозерском редкометальном месторождении / А.В. Ловчиков // Вестник МГТУ. – Том 11, № 3. – 1983. – С. 385-392.
4. Козырев А.А. Геомеханические исследования и обоснования при ведении горных работ на Кольском полуострове / А.А. Козырев, В.И. Панин, С.Н. Савченко // Вестник Кольского научного центра РАН. – Горный институт КНЦ РАН. – 4/2013 (15). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kolasc.net.ru>
5. Гликман А.Г. О физике землетрясений // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.newgeophys.spb.ru/ru/doc1.shtml
6. Страхов В.Н. Сейсмические явления в районе Чернобыльской АЭС / В.Н. Страхов, В.И. Старостенко и др. // Геофизический журнал. Т.19, № 3, 1997. С.3-15.
7. Шашенко А.Н. Проблема разработки недр в Кривбассе: технические и эколого-правовые аспекты безопасной эксплуатации / А.Н. Шашенко // Форум гірників – 2009. Матеріали міжнародної конференції «Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – С 118-124.
8. СП 31-114-2004. Правила проектирования жилых и общественных зданий для строительства в сейсмических районах. – М.: ФГУП ЦНС – 2005. – 53 с.
9. Чылбак А.А. Оценка сейсмической опасности Республики Тыва / А.А. Чылбак // Научные труды Тывинского государственного университета. Вып. V Том. I. – Вызыл: Изд-во ТывГУ, 2008. – С. 31-33.
10. Аубакиров А.Т. «Совершенствование методов расчета и конструирования зданий и сооружений возводимых в сейсмических районах».
11. Чылбак А.А. Обоснование необходимости повышения сейсмостойкости зданий в условиях Республики Тыва / А.А. Чылбак. / Актуальные проблемы современного строительства: 59-я Междунар. Науч.-техн. Конф. Молодых ученых: сб. докл. / С. Петерб. гос. архитектур. строит. Ун-т. – СПб, 2006. – Ч.1. – С. 74-76.
12. Чылбак А.А. Рациональное проектирование сейсмозащиты с учетом нелинейности опор / А.А. Чылбак: // Математическое моделирование в механике деформируемых тел и конструкций. Методы граничных и конечных элементов: труды XXII Междунар. конф.: сб. трудов. СПб: 24-27 сентября 2007г. – Том 2. – С. 387-392.
13. Чылбак А.А. Исследование НДС крупнопанельного здания на сейсмическое воздействие / А.А. Чылбак. // Актуальные проблемы современного строительства: 61-я Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых: сб. докл. / СПбГАСУ. – СПб, 2008. – Ч.1. – С. 108-111.
14. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. «Современные методы сейсмозащиты зданий».