

А. П. Иванова /к. т. н./, Л. В. Феськова,
О. И. Труфанова

ГБУЗ «Национальный горный университет

Техногенные землетрясения в Кривбассе при добыче руд и проблема защиты от разрушения промышленных и гражданских сооружений

A. P. Ivanova /Cand. Sci. (Tech.)/,
L. V. Feskova, O. I. Trufanova

National mining university

Technogenic earthquakes in Krivbass in the extraction of ores and the problem of protection from the destruction the industrial and civil constructions

Цель. Анализ влияния техногенной сейсмичности на разрушение промышленных и гражданских сооружений, вызванной активной деятельностью человека.

Методика. Проведен анализ существующих нормативных документов, учитывающих влияние техногенных землетрясений.

Результаты. Рассмотрены техногенные землетрясения (их периодичность и магнитуда), вызванные активной деятельностью человека на территории Кривбасса, и их влияние на жилой фонд. Обосновано создание новых и уточнение существующих рекомендаций и нормативных документов, учитывающих влияние именно техногенных сейсмических воздействий.

Научная новизна. Изложены мероприятия, направленные на уменьшение сейсмической опасности при проектировании и строительстве объектов для снижения риска их разрушения.

Практическая значимость. Обоснована необходимость проектирования и создания инфраструктуры городов в горнодобывающих регионах таким образом, чтобы свести к минимуму потери от техногенных землетрясений. (Ил. 3. Библиогр.: 12 назв.)

Ключевые слова: техногенные землетрясения, защита от разрушения, промышленные и гражданские сооружения, колебания, мониторинг.

Актуальность проблемы. Интенсивное использование населением мира природных ресурсов привело к увеличению масштабов воздействия человека на окружающую среду. Причем, не только на такие быстро реагирующие компоненты экосистем, как животный и растительный мир, почва, вода и воздух, но и на те, которые обычно считались не подверженными влиянию цивилизации. К таким компонентам относится верхняя часть земной коры, в пределах которой осуществляется деятельность человека.

Техногенная деятельность в горнопромышленных регионах Украины достигла таких масштабов, что способна вызвать искусственные землетрясения, провалы и оползни земной поверхности. Типичным в этом отношении является регион г. Кривого Рога (415 км²), где более 200 лет ведется разработка месторождений железной руды. В регионе все чаще наблюдаются такие явления, как провалы и оползни земной поверхности, а также имеют место землетрясения. Эти землетрясения достигают по разным оценкам 5,0–6,0 баллов по шкале Рихтера. В то

же время промышленные и гражданские сооружения, расположенные в данном регионе, возводились, исходя из рекомендаций для землетрясений с меньшей бальностью. Поэтому актуальным является изучение проблемы влияния техногенной деятельности на жилую зону г. Кривой Рог с дальнейшей разработкой рекомендаций по обеспечению ее безопасности.

Постановка задачи исследования. Сейсмология как наука, располагая инструментарием, с помощью которого можно исследовать внутреннее строение Земли до больших глубин с высокой разрешающей способностью и надежностью, изучает динамические процессы, вызванные колебаниями земной коры [2].

В сейсмологии различают два типа землетрясений: естественные и техногенные. Ежегодно на Земле фиксируется более 100 тысяч землетрясений естественного происхождения. Из них людьми ощущаются около 10 тысяч, разрушительными бывают около 100 землетрясений. Они наносят большой экономический ущерб и нередко приводят к огромным человеческим

жертвам. Одной из целей современных исследований в области сейсмологии является прогноз времени и места предстоящих землетрясений. В случае решения этой сложнейшей проблемы появилась бы возможность своевременного предупреждения населения о предстоящем землетрясении, что позволило бы снизить до минимума или исключить вовсе гибель людей.

Техногенные землетрясения возникают в результате активной деятельности человека [11], связанной с извлечением природных ресурсов (рис. 1), которое приводит к перераспределению породных масс.

В процессе добычи твердых (различные типы руды), жидких (подземные воды и нефть) и газообразных полезных ископаемых производятся различные по характеру и объему горные разработки: выемка в огромных объемах вскрышных пород и полезного ископаемого при открытой разработке, его обогащение с образованием карьеров, отвалов, хвостохранилищ. При подземной добыче руд без закладки выработанного пространства образуются огромные пустоты. В этой связи естественное поле напряжений заменяется техногенным, что сопровождается накоплением в породном массиве потенциальной энергии. При достижении ею некоторого критического уровня происходит разрядка в виде перехода потенциальной энергии в кинетическую и энергию дезинтеграции породного массива. Это явление протекает чрезвычайно быстро и носит название потери устойчивости некоторой физической системы. Сопровождается потеря устойчивости динамическим эффектом в виде техногенного землетрясения.

Криворожский железорудный бассейн (рис. 2) является основной сырьевой базой черной металлургии Украины, кото-

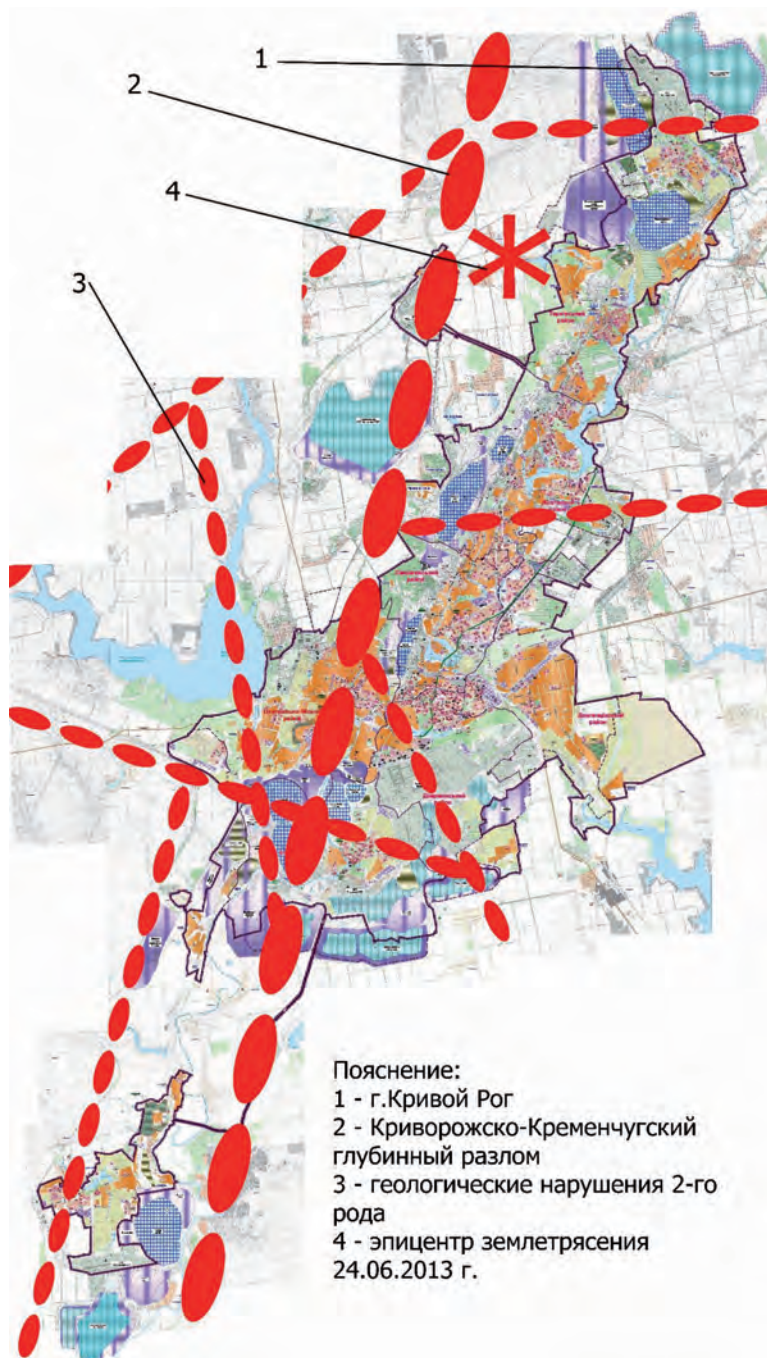


Рис. 2. Геологические нарушения на территории г. Кривой Рог



Рис. 1. Основные виды воздействия человека на природу, которые могут спровоцировать землетрясение

рая дает более 40 % валютных поступлений государству. Поэтому нормальное функционирование этого региона является важной задачей государственного уровня. Нигде в мире нет такой концентрации подземных и открытых горных работ. Все горные работы ведутся в черте города. За год горнодобывающие предприятия Кривбасса откачивают до 80 млн м³ воды. В отвалах накопилось более 9,0 млрд т вскрышных пород, в хвостохранилищах заскладировано больше 3 млрд т отходов обогащения. Во время массовых взрывов одновременно подрываются до 800 т взрывчатых веществ. Из 500 км² площади города 40 км² занято карьерами и зонами обрушения, 79 км² занимают хранилища отходов обогащения, более 70 км² находятся под отвалами вскрышных пород.

В результате ведения горных работ и извлечения миллиардов тонн горной массы в Криворожском регионе сформировано значительное техногенное нарушение блочной геологической структуры недр, что по площади превышает размеры блоков, которые составляют эту структуру. Эти нарушения проявляются на земной поверхности. Зона нарушений простирается на 80 км вдоль бассейна (рис. 3) и представляет непрерывное чередование карьеров, шахт, зон смещения и зон обрушения пород, локальных шламохранилищ, отвалов пустых пород. Все это можно сравнить с масштабами крупных природных тектонических нарушений.

С начала 2000-х годов на территории Кривбасса зарегистрирован ряд землетрясений с магнитудой, достигающей 4,0 баллов по шкале Рихтера (рис. 3). С нашей точки зрения, причина их состоит в перераспределении породных масс, образовании полостей как на поверхности, так и под землей.

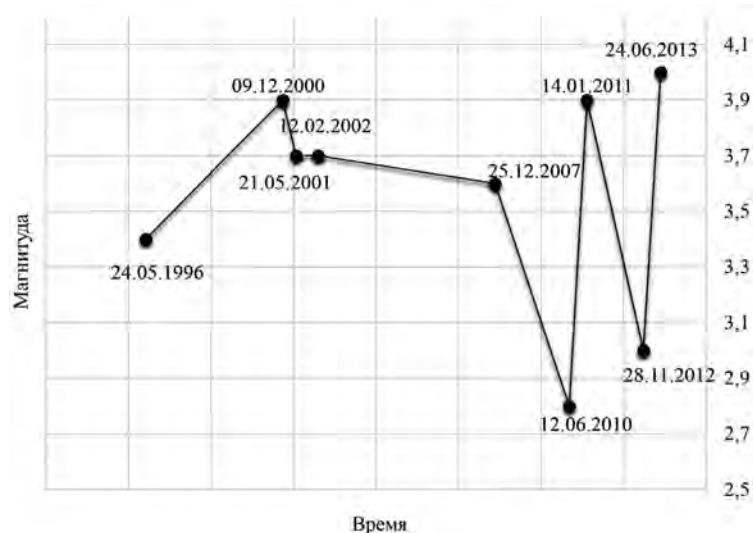


Рис. 3. Периодичность и магнитуда техногенных землетрясений в районе Кривого Рога

Существующая инфраструктура города, которая создавалась без учета сейсмических факторов, состоит из двух частей: жилого фонда и промышленных предприятий.

Промышленные предприятия расположены в северной, западной, центральной и южной частях города. В пределах этих территорий находятся карьеры, отвалы, хвостохранилища, отстойники, коксовые батареи, доменные печи, копры, водо- и газопроводы. В любой момент под действием сейсмических сил все это может разрушиться, и размеры катастрофы трудно оценить [1].

Таким образом, необходимо уделить большое внимание защите промышленных зданий и сооружений от сейсмических воздействий. Но самой большой опасности подвергается жилой фонд города (16,7 млн м², 643 184 жителя). Это 2-, 3-, 4-, 5- и 9-этажные здания, которые проектировались еще в 1950-е гг., и 12-, 16- и 20-этажные новые высотные дома. При их проектировании учитывалось сейсмическое воздействие меньшей бальности.

Актуальные нормативные документы [3; 5-9] содержат методики расчёта, и рекомендации по защите от разрушения следующих типов зданий:

- крупнопанельные здания [5];
- жилые здания с несущими кирпичными стенами [6];
- жилые здания каркасного типа [7];
- монолитные жилые здания [8];
- высотные здания [9];
- большепролетные сооружения [3].

В зарубежных строительных нормах введено понятие риска. Предложены подходы для определения уровня риска/последствия, оценки проектных мер предотвращения разрушения, которые учитывают ценность и уязвимость сооружения. Отмечено, что никакими экономически оправданными мерами нельзя полностью исключить риск отказа любого несущего элемента. Каждое сооружение имеет некоторую вероятность разрушения. Попытка приблизить эту вероятность к нулю сопровождается стремительным ростом стоимости сооружения [10]. Кроме того, сооружения не могут быть совершенно свободными от риска разрушения из-за неопределенностей требований к системе, разброса технических свойств строительных материалов, трудностей адекватного моделирования поведения системы даже с использованием современных программных комплексов.

В настоящее время отсутствует общепринятый научно обоснованный подход или практика проектирования зданий и

сооружений, сохраняющих структурную целостность при различных вариантах расчетных нагрузок и аварийных воздействий. Не разработаны аналитические методы определения начальных повреждений и прогнозирования вероятности последующего обрушающегося разрушения сооружения из-за предполагаемых аварийных воздействий. Необходимы разработки по развитию усовершенствованной методики оценки уязвимости конструктивных систем и их совершенствования для смягчения обрушения от техногенных землетрясений при различных вариантах опасности [3].

Каждое высотное здание является индивидуальным в отношении архитектурно-планировочного и конструктивного решения. Это говорит о том, что не существует единственно правильного решения варианта, как при прогнозировании, так и при использовании мероприятий по обеспечению стойкости зданий от техногенного динамического воздействия.

При проектировании сейсмостойких зданий и сооружений и при усилении зданий существующей застройки следует:

- принимать объемно-планировочные и конструктивные решения, обеспечивающие, как правило, симметричность и регулярность распределения в плане и по высоте здания масс, жесткостей и нагрузок на перекрытия;

- применять материалы, конструкции и конструктивные схемы, обеспечивающие наименьшие значения сейсмических нагрузок (легкие материалы, сейсмоизоляцию, другие системы динамического регулирования сейсмической нагрузки);

- создавать возможность развития в определенных элементах конструкций допустимых неупругих деформаций;

- выполнять расчеты металлических конструкций зданий и сооружений с учетом нелинейного деформирования конструкций;

- предусматривать конструктивные мероприятия, обеспечивающие устойчивость и геометрическую неизменяемость конструкций при развитии в элементах и соединениях между ними неупругих деформаций, а также исключая возможность хрупкого их разрушения;

- располагать тяжелое оборудование на минимально возможном уровне по высоте здания [12].

Актуальной является разработка рекомендаций по усилению и защите существующих жилых зданий и сооружений от сейсмического воздействия. Это можно осуществить путем качественного мониторинга и создания программы, обеспечивающей эту защиту. Необходимо создание постоянно обновляемой (динамической)

3D-геомеханической модели территории. Она должна включать как информацию о техногенных процессах, так и данные о геологическом строении территории, ее тектонической активности, напряженно-деформированном состоянии.

Выводы. При выемке полезных ископаемых в пределах Кривого Рога образовалось большое количество неучтенных пустот в породном массиве, что может в любой момент под действием сейсмических сил привести к разрушению. На территории Кривбасса зарегистрировано 9 землетрясений и сейсмических событий с магнитудой по разным оценкам, достигающей 4,0–6,0 баллов по шкале Рихтера. Самой большой опасности подвергается жилой фонд города, который проектировался без учета возможного влияния сейсмического воздействия. Поэтому важной задачей является создание новых и уточнение существующих рекомендаций и нормативных документов, учитывающих влияние техногенных сейсмических воздействий.

Библиографический список / References

1. Иванова А. П. Анализ мониторинга техногенной сейсмичности кривого рога / А. П. Иванова, Л. В. Феськова // Форум горняков. Материалы международной научно-технической конференции. – 2015. – № 2. – С. 24–29.

Ivanova A. P., Feskova L. V. *Analiz monitoringa tehnogennoy sey-smichnosti krivogo roga*. Forum gornyakov. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. 2015, no. 2, pp. 24–29.

2. Кузнецов В. В. Физика земли / В. В. Кузнецов. – Новосибирск: Учебник-Монография, 2011. – 840 с.

Kuznetsov V. V. *Fizika zemli*. Novosibirsk, Uchebnik-Monografiya, 2011. 840 p.

3. МДС 20-2.2008. Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного обрушения / ФГУП «НИЦ «Строительство». – М.: ОАО «ЦПП», 2008. – 16 с.

MDS 20-2.2008. *Vremennyye rekomendatsii po obespecheniyu bezopasno-sti bolsheproletnyih sooruzheniy ot lavinoobraznogo obrusheniya*. FGUP "NITs 'Stroitelstvo'". Moscow, TsPP, 2008. 16 p.

4. О сильных и разрушительных землетрясениях в некоторых сейсмоактивных регионах [Электронный ресурс] // Институт сейсмологии, Казахстан. – 2011. – Режим доступа: http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/analit/an_4241.pdf

O silnyih i razrushitelnyih zemletryasenyah v nekotoryih seysmoak-tivnyih regionah. Institut seysmologii, Kazakhstan. 2011. Available at: http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/analit/an_4241.pdf

5. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. – М., 1999.

Rekomendatsii po predotvrascheniyu progressiruyuschih obrusheniy krupnpanelnykh zdaniy. Moscow, 1999.

6. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при ЧС. – М., 2002.

Rekomendatsii po zaschite zhilykh zdaniy s nesuschimi kirpichnyimi stenami pri ChS. Moscow, 2002.

7. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. – М., 2002.

Rekomendatsii po zaschite zhilykh karkasnykh zdaniy pri chrezvychaynykh situatsiyah. Moscow, 2002.

8. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. – М., 2005.

Rekomendatsii po zaschite monolitnykh zhilykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya. Moscow, 2005.

9. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. – М., 2006.

Rekomendatsii po zaschite vyisotnykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya. Moscow, 2006.

10. Райзер В. Д. Теория надежности в строительном проектировании: монография / В. Д. Райзер. – М.: Издательство Ассоциации Строительных Вузов, 1998. – 302 с.

Rayzer V. D. Teoriya nadezhnosti v stroitelnom projektirovanii. Moscow, Izdatelstvo Assotsiatsii Stroitelnykh Vuzov, 1998. 302 p.

11. Феськова Л. В. Анализ проблемы техногенной сейсмичности / Л. В. Феськова // Ресурсоенергозберегаючі технології гірничого виробництва. – 2015. – № 1. – С. 114–122.

Feskova L. V. *Analiz problemyi tehnogennoy seysmichnosti.* Resursoenergozberegayuchi tehnologiyi girnichogo virobnytstva. 2015, no. 1, pp. 114-122.

12. Чигринская Л. С. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Учебное пособие для студентов специальностей: 270102 «Промышленное и гражданское строительство» и 270105 «Городское строительство и хозяйство» / Л. С. Чигринская. – Ангарск: АГТА, 2009. – 107 с.

Chigrinskaya L. S. Seysmostoykost zdaniy i sooruzheniy. Uchebnoe posobie dlya studentov spetsialnostey: 270102 "Promyishlennoe i grazhdanskoje stroitelstvo" i 270105 "Gorodskoe stroitelstvo i hozyaystvo". Angarsk: AGTA, 2009. 107 p.

Purpose. Analyze the influence of technogenic seismicity in the destruction of industrial and civil constructions caused by human activity.

Methodology. The analysis of existing regulations which take into account the impact of technogenic earthquakes are given.

Findings. Technogenic earthquakes caused by human activity in the territory of Kryvbas are presented and their impact on housing stock is examined. The establishment of new and update of existing recommendations and regulations that take into account the effect of exactly technogenic seismic actions is proved.

Originality. Pleasures to reduce seismic danger during design and construction of objects to decrease the risk of their destruction are presented.

Practical value. The necessity of designing and creating infrastructure of cities in mining regions to minimize the loss from technogenic earthquakes is found.

Key words: technogenic earthquakes, protection from the destruction, industrial and civil construction, vibration, monitoring.

Поступила 02.04.2016

