

ПРИРОДНАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ ОРЕНБУРЖЬЯ

Известно, что землетрясения, как подземные удары и колебания поверхности Земли могут возникать в результате естественных процессов, а также активной деятельности человека, прежде всего, связанной с извлечением природных ресурсов. Последние называются техногенными или наведенными.

Землетрясения естественного происхождения издревле знакомы человеку. На протяжении многих тысячелетий он пытался и пытается распознать причины и характер их происхождения и противопоставить им свои рационалистические решения, способные уменьшить или исключить разрушительные последствия и человеческие жертвы.

Техногенные землетрясения – явление достаточно молодое. Оно является порождением научно-технического прогресса. Лишь в последние десятилетия появились такие термины, как «вынужденная» или «вызванная» сейсмичность. И, тем не менее, оба вида землетрясений являются грозным явлением, способным приносить огромные жертвы, наносить материальный ущерб.

Территория Оренбургской области относится к разряду территорий спокойного сейсмического характера. Во всяком случае, ретроспективный взгляд и анализ исторических фактов такое заключение подтверждают. Но это ретроспектива. Какова перспектива?

Измененная сейсмичность и новые проблемы

Карты сейсмического районирования, разработанные в нашей стране в 1937, 1957, 1968 базировались на исторических сведениях о ранее происходящих землетрясениях и инструментальных данных о колебаниях грунтов при сильных землетрясениях, имевших место в различных регионах. Более поздняя карта ОСР-78¹ была наиболее достоверной, поскольку ее построение базировалось не только на сейсмостатистической информации, но и на основе данных сейсмогеодинамических исследований. Методы проведения общего сейсмического районирования были двухстадийными. На первой стадии выделялись зоны возникновения ожида-

емых землетрясений (зоны ВОЗ), дифференцированные по магнитуде, на второй – рассчитывались сотрясения в параметрах, необходимых для сейсмостойкого строительства. Карта ОСР-78 носила нормативный характер и ее данные были заложены в СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах» в виде приложения, в котором был указан перечень населенных пунктов, прогнозируемая сейсмичность и повторяемость сейсмических воздействий.

Но катастрофическое землетрясение в Армении в декабре 1988 года поставило перед наукой и практикой ряд новых задач, в том числе была подвергнута сомнению достоверность данных, характеризующих состояние сейсмической напряженности на территории нашей страны. Были обнаружены систематические несоответствия фактической интенсивности землетрясений по сравнению с прогнозными в 2 – 3 балла. В частности, в соответствии с картой ОСР-78 город Спитак попадал в зону 7 балльного, а Ленинакан в зону 8 балльного землетрясения. По данным [1] фактическая, инструментально зарегистрированная интенсивность сотрясений составила в Ленинакане на грунтах II и III категории от основного толчка 9 баллов. В Спитаке на грунтах II категории также 9 баллов, а на грунтах III категории 10 баллов. Подобные несоответствия были отмечены и при анализе последствий землетрясения в Зайсане (Казахстан, 1989 г). По этой причине возникла необходимость проведения дополнительных специальных научно-исследовательских работ в области сейсмического районирования.

Результат этих исследований выразился в создании новой карты общего сейсмического районирования ОСР-97, которая в отличие от карты ОСР-78 имеет вероятностный характер. В ней, в соответствии с международной шкалой MSK-64, указана расчетная сейсмическая интенсивность в баллах для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности (А, В, С). В список населенных пунктов, расположенных в сейсмически опасных районах вошли практически все города и поселки Оренбургской области, где прогнозируются возмож-

¹ Цифры означают год завершения работы над картой

ные землетрясения с интенсивностью 6 баллов² и вероятностью 1% в течение 50 лет.

Учитывая, что все нормативные документы и главный из них СНиП II-7-81* рекомендуют нормы сейсмостойкого строительства соблюдать только при проектировании зданий и сооружений, возводимых на площадках сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов этот факт не изменил принципы организации строительного дела, существовавшие и ранее.

Но карта ОСР-97, как и все предыдущие, дает значения приблизительной сейсмической опасности /2/. Более точное значение прогнозируемых воздействий определяется на конкретных площадках строительства специальными исследованиями – сейсмическим микрорайонированием. Его результаты зависят от локальных особенностей геологической среды. Сюда можно отнести литологический состав, физико-механические свойства грунтов, особенности геологического строения, гидрогеологические условия, влияние рельефа, наличие тектонических разломов и др.

В результате сейсмического микрорайонирования конкретные площадки могут иметь балльность, отличную от балльности, определенной общим сейсмическим районированием. Это означает, что на территории конкретной площадки могут появиться участки с повышенной или пониженной балльностью на один балл и более. В СНиП II-7-81* в первой и последней редакции в примечании к таблице 1 указывается: для особо ответственных зданий и сооружений, строящихся в районах с сейсмичностью 6 баллов на площадках строительства с грунтами III категории по сейсмическим свойствам, расчетную сейсмичность следует принимать равной 7 баллам.

Исходя из этого и учитывая, что на территории Оренбургской области грунты III категории по сейсмическим свойствам представлены достаточно широко, можно сделать вывод о возможности повышения прогнозируемых сейсмических воздействий на один балл, что автоматически влечет за собой при строительстве зданий и сооружений особой ответственности необходимость разработки конструктивных решений антисейсмического характера³.

Возможен другой подход. Уточнение величины сейсмических воздействий проводить с помощью инженерных изысканий по сейсмическому микрорайонированию на основе материалов инженерно-геологических исследований, инструментальных наблюдений и теоретических расчетов. Это позволяет более точно отображать изменения сейсмической интенсивности на земной поверхности в пределах обозначенных габаритов конкретных строительных площадок.

В любом случае не реагировать на то, что Оренбургская область из асейсмичной перешла в разряд сейсмически опасных по данным карты ОСР-97 нельзя.

Землетрясения техногенного происхождения

Накопившийся опыт воздействия человека на литосферную оболочку Земли подтверждает вероятность возникновения землетрясений в различных регионах и условиях. К настоящему времени известно более 50 случаев сейсмоактивности, связанной с заполнением водохранилищ. Причины побуждения сейсмичности обобщаются в следующем виде:

- быстрый рост упругих напряжений под действием нагрузок от водохранилищ;
- увеличение порового давления в подстилающих породах, связанное с деформацией пор под действием нагрузки и с диффузией воды;
- повышение уровня грунтовых вод и поступление их в тектонические трещины.

Шахты и карьеры, а также подземные ядерные взрывы воздействуют на перераспределение напряжений в грунтах, что приводит к горным ударам и к горнотектоническим землетрясениям.

Но наиболее известными являются землетрясения, индуцированные длительной добычей нефти и газа, а также закачкой в разломы воды и других жидкостей⁴. Они многократно были зарегистрированы не только за рубежом, но и на территории РФ, в частности, в Самарской, Пермской областях, а также в Татарстане и в районах Западной Сибири. В 1976 году, в пределах газового месторождения Газли (Узбекистан) было зафиксировано два землетрясения силой 9 и 10 баллов, в результате чего был полностью разрушен поселок и нанесен серьезный

² В список населенных пунктов с интенсивностью землетрясений 6 и более баллов вошли многие другие регионы, считавшиеся ранее асейсмичными: Астраханская, Брянская, Владимирская, Волгоградская, Воронежская и другие области.

³ Сюда относятся все экологически опасные объекты и производства, способные иметь цепной (мультипликативный) характер развития аварий. Для Оренбургской области все объекты нефтегазового комплекса, в том числе подземное хранилище газа, относится к данной категории

материальный ущерб промыслам. Не является ли этот пример неким предостережением для нас, где практически из под города Оренбурга извлекается второй триллион газа?

Уместно разобраться, какие процессы происходят при этом. Известно, что продуктивные газовые пласты представляют собой твердый остов из сцементированных зерен горных пород. В процессе отбора газа уменьшается компенсационное давление и нарушается естественное динамическое равновесие в системе газ – нефть – вода – горная порода. В результате этого возникают внутренние напряжения, приводящие к смещению частей земной коры относительно друг друга. Возникающие при этом упругие волны способствует релаксации напряжений в соседних массивах, образуя в свою очередь волны скачкообразного разуплотнения, которые перерождаются в сейсмические.

Активизацию сейсмических процессов в нефтедобывающих районах также вызывает интенсивная добыча нефти. Разработка нефтяных месторождений, как правило, сопровождается законтурным заводнением, для чего в продуктивные пласты нагнетают под давлением воду. В результате уровень грунтовых вод повышается, повышается проработанность пород, создавая дополнительные условия индуцирования землетрясений техногенного характера. Учитывая, что нефтяные месторождения Оренбуржья находятся на незначительном расстоянии одно от другого, возможно образование эффекта сейсмического взаимовлияния с соответствующими разрушительными последствиями.

По данным Оренбургского филиала Горного института УрО РАН в результате интенсивной эксплуатации Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ) и основных месторождений нефти в Оренбуржье зафиксировано нарушение природного динамического равновесия в геологической среде. Под ОНГКМ образовалась гидродинамическая воронка мощностью 600-800 м, а под рядом месторождений нефти и более. В результате, в перекрывающих месторождения кровлях возникли дополнительные некомпенсиро-

ванные напряжения до 100 кгс/см². По этой причине многократно увеличилась вероятность возникновения землетрясений в Оренбургском Предуралье.

Запущенная в октябре 2004 года в эксплуатацию станция сейсмического наблюдения на территории Оренбургской области ежемесячно фиксирует около 250 сейсмических событий различной природы, половина которых относится к событиям местного происхождения, что свидетельствует о критической сейсмической обстановке.

Таким образом, на территории Оренбургской области имеются сейсмогенерирующие структуры и создаются реальные предпосылки возникновения землетрясений техногенного происхождения. Уместен вопрос – какие превентивные действия следует предпринимать, в целях уменьшения риска возникновения техногенных землетрясений? Не снижать же темпы добычи нефти и газа!

В сложившейся ситуации прежде всего необходим сейсмомониторинг – постоянное наблюдение быстро меняющейся обстановки с целью получения достоверной информации, дающей возможность принимать технические и управленческие решения. Для этого следует создать центр сейсмологического мониторинга и в первую очередь, сеть станций сейсмического наблюдения, в количестве не менее 5 штук⁵, что позволит, по крайней мере, определить сеймотектонический потенциал и спрогнозировать параметры возможных землетрясений (магнитуда и интенсивность). Сейсмомониторинг позволит выявить наиболее сейсмоопасные территории и выполнять работы, позволяющие обеспечивать релаксацию техногенных напряжений. В частности, это могут быть искусственные горные удары, периодические взрывы и разрывы пластов при закачке жидкостей. На этот вопрос более квалифицированно могут ответить специалисты в области геодинамики. Но не замечать критическую напряженность в геологической среде, а также не предпринимать превентивные меры нельзя.

4 Если точно знать, где накопилась сейсмическая энергия, можно пробуравив в этом месте скважину, закачать под большим давлением жидкость, выполняющую роль некоего рода смазки или произвести взрыв, что послужит «спусковым механизмом». Безусловно землетрясение произойдет, но это действие позволит избежать внезапность и обеспечить эвакуацию населения, а также произвести превентивные меры защиты оборудования и т. п. Такую идею высказывал академик М.А.Садовский, длительное время работавший директором института физики Земли Академии наук СССР

5 Для этих целей представляется целесообразным объединение средств ОНГКМ и ТНК ВР с научно-методическим обеспечением Оренбургского филиала Горного института УрО РАН и Геофизической службы РАН.

Случайность колебательных процессов и неопределенность сейсмического риска

До настоящего времени проектирование и строительство абсолютно всех объектов на территории Оренбургской области велось без учета сейсмических воздействий. Как известно, при землетрясениях интенсивностью 6 баллов в большинстве зданий гражданского и промышленного назначения наблюдается раскрытие незначительных трещин. При 7 баллах характер типичных повреждений такой же, с увеличенным количеством трещин и их размеров. Отсюда возникает вопрос – следует ли проявлять беспокойство относительно возможных сейсмических воздействий, прогноз которых ограничивается силой (интенсивностью) землетрясений максимум в 7 баллов?

На этот вопрос сегодня однозначно ответить невозможно. Колебания грунтов могут быть длиннопериодными (1,25 – 2,5с) и короткопериодными (0,2 – 0,3с). Сами здания и сооружения также имеют различные периоды колебаний и соответственно могут быть жесткими и гибкими. С уменьшением их жесткости, т. е. с увеличением периодов собственных колебаний расчетная сейсмическая нагрузка может меняться в несколько раз. Отсюда возникают неоднозначные напряженные состояния и прочностные возможности конструктивных систем. Известны случаи, когда очень прочные и жесткие сооружения разрушались, а стоявшие рядом гибкие и малопрочные оставались невредимыми. Все дело в соотношении периодов колебаний грунтов и самих сооружений, в амплитудно-частотных характеристиках осцилляторов. Более того, существующие конструктивные приемы, позволяющие разрабатывать антисейсмические меры при проектировании и строительстве зданий и сооружений при расчетной сейсмичности свыше 6 баллов больше всего подходят для зданий средней этажности. Прочностное поведение зданий большой высоты и тем более сооружений, в которых центры масс и жесткостей не совпадают, до конца не изучено. Но ясно одно – даже при незначительных сейсмических воздействиях в них, кроме изгибных деформаций, возникают деформации кручения и соответствующие внутренние усилия. Следовательно, их прочностные возможности будут более низкими. К таковым относятся большинство низко и высокотемпературных колонн ректификации и регенерации, тех-

нологических этажерок, и т. п. на газовом и гелиевом заводах.

Следует также учитывать, что одинаковая оценка землетрясений в баллах не означает адекватные воздействия и повреждения объектов. Каждому землетрясению присущи свои характеристики, такие как спектральный состав, величина ускорений и перемещений грунтов, длительность интенсивных колебаний и др. Соответственно создаются различные режимы силовой загрузки зданий и сооружений. Сюда можно добавить и направление распространения сейсмических волн. Практика показывает, что сделанные в одном и том же месте при одном и том же землетрясении записи колебаний сильно отличаются по различным горизонтальным компонентам.

Периоды колебаний любых уже построенных зданий и сооружений или вновь проектируемых поддаются определению теоретическими и инструментальными методами. Гораздо сложнее с периодами колебаний грунтов и их скоростями и ускорениями. Отсюда неопределенность задачи.

Таким образом, при сейсмических воздействиях колебания оснований и соответственно колебания конструктивных систем носят случайный характер, который может быть описан случайными функциями, в чем выражается сложность определения сейсмического риска.

Целью инженерно-геологических исследований является разработка карт сейсмического микрорайонирования на которых отображаются не только изменения сейсмической интенсивности, но и количественные характеристики колебания грунтов [3].

Следовательно, на вопрос, какие сейсмические воздействия следует ожидать в заданном районе, можно ответить только после разработки карт сейсмического микрорайонирования.

Что касается землетрясений техногенного характера, то здесь еще больше неопределенностей. У нас отсутствует краткосрочный прогноз их проявления, хотя предпосылки возникновения достаточно обоснованы. При этом следует учитывать, что при одной и той же магнитуде балльность на поверхности земли зависит в значительной мере от гипоцентрального расстояния. С его уменьшением интенсивность землетрясений на поверхности увеличивается. Если учесть, что техногенные землетрясения в районе ОНГКМ возможны как мелкофокусные, то, согласно шкалы Института физики Земли, при

значении магнитуды $M=5$ возможны толчки силой 7 – 8 баллов⁶.

К примеру, в Татарии, в районе Ромашкинского месторождения с периодичностью 3,5 года возникают землетрясения с магнитудой $M=4$. Здесь же прогнозируется значение $M=5$ ⁷.

Таким образом, предпосылки и необходимость создания не только дополнительных станций сейсмического наблюдения, но и организации сейсмомониторинга и единой службы прогноза землетрясений на территории Оренбургской области достаточно обоснованы.

Пороговый уровень прочности зданий, сооружений и технологического оборудования

Безаварийность работы любой технологической системы зависит от надежности ее отдельных элементов и требует соответственно от них равнопрочных характеристик. В этой связи правомерен вопрос определения «условного равного уровня безопасности» для каждого отдельного производства. В противном случае, усиление одного звена технологической цепи без соответствующего усиления других не делает систему безопасной в целом, а с точки зрения экономики делает ее нерациональной. Исходя из этого, «условный равный уровень безопасности» технологического оборудования в свою очередь диктует необходимость соответствующего прочностного уровня конструктивных элементов зданий и сооружений. Несмотря на очевидность, в такой постановке задача никогда не решалась. Отсюда возникает правомерный вопрос: если здание не разрушается при силе землетрясения 6 баллов, а технологическое оборудование или коммуникационные устройства имеют значительно меньший пороговый уровень прочности, будет ли система физически устойчивой и работоспособной? Безусловно, нет.

Опыт показывает, что даже при пятибалльных землетрясениях, электротехническое оборудование, выполненное не в сейсмостойком исполнении⁸, приводит к отказам и различного рода нарушениям в обеспечении управления технологическими процессами и производством с точки зрения промышленной безопасности. В частности, в условиях сейсмозей-

ствий возможно неконтролируемое срабатывание аварийной защиты различных аппаратов и устройств. Это в свою очередь порождает вероятность возникновения вторичных факторов поражения в виде взрывов и пожаров и т. п., что весьма актуально для предприятий газовой, нефтедобывающей, нефтехимической промышленности.

Подтверждением более низкого порогового уровня электротехнического оборудования по сравнению со зданиями может служить Джамбульское землетрясение 10.05.1971 г. Здесь все строительные конструкции электрических подстанций деформаций и разрушений не имели, в то время как такое оборудование как разрядники, открытые и закрытые распределительные устройства, изоляторы, масляные выключатели и др. вышли из строя.

Комплекующие элементы, содержащие детали из хрупких материалов, таких как стекло, керамика, фарфор, силумин, пластмассовые корпусные части и т. п. характеризуются низкой сейсмостойкостью. Не случайно, вопросы размещения атомных электростанций рассматриваются на площадках с расчетной сейсмичностью ниже 4 баллов, а практически все электротехническое оборудование выполняется в сейсмостойком исполнении.

Другим примером может служить сейсмостойкость резервуаров. Сейсмическая сила оказывает на всю систему (резервуар и поддерживающие его конструкции) гидродинамическое воздействие. Кроме того, в жидкости образуется поверхностная волна, которая является дополнительным разрушающим фактором. Если зазор между поверхностью жидкости и перекрытием недостаточен, возникает гидродинамический удар.

По территории Оренбургской области проходит более 6000 километров магистральных газопроводов, работающих под давлением до 8 МПа. Как показывает мировой опыт, даже незначительные сейсмические воздействия могут играть роль спускового механизма, провоцирующего разрушение трубопроводов в результате имеющихся коррозионных повреждений, эрозионных износов, трещин и т. п. Они могут вызывать аркообразование, как реакцию на напряженное состояние в виде компенсато-

6 Ташкентское землетрясение 26.04.1966г. имело магнитуду 5,1, но гипоцентральное расстояние составляло всего 8 км., что возбудило землетрясение под городом интенсивностью до 8 баллов

7 На территории Татарстана создан центр сейсмологического мониторинга и единая система сейсмологических прогнозных наблюдений

8 В Японии все основные виды электрооборудования выпускаются в сейсмостойком исполнении

ров естественного происхождения. Особенно уязвимыми с точки зрения взрыва и пожароопасности являются компрессорные станции, газоперерабатывающие предприятия, где наблюдаются значительные вибрационные воздействия на конструкции зданий, сооружений, этажерок, поддерживающих оборудование и т. п. Изменение амплитудно-частотных характеристик, вызывающих резонанс или биение способно повлечь изменение напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и соответствующие крупномасштабные аварии.

Классификация разрушения объектов по шкале MSK-64 не является полной. В ней, в основном, приведены данные для зданий и сооружений. Более чувствительные системы, в том числе и те, о которых сказано выше, подвержены выходу из строя при более низких значениях интенсивности землетрясений. И в этом выражается опасность для нашего региона.

Вопросы, на которые нет ответов

Важной характеристикой чрезвычайных ситуаций является прогноз и темпы их развития. Чрезвычайные ситуации, вызванные действием землетрясений, являются «взрывными» в отличие от «плавных», которым свойственен продолжительный, порой латентный период. В этой связи уместен вопрос – способны ли органы, ответственные за прогноз землетрясений естественного и техногенного характера оповестить население, руководителей предприятий. Безусловно нет. Такая категоричность основана на том, что, как было сказано выше, на территории области всего год назад появилась лишь одна станция сейсмического наблюдения, что не позволяет решать элементарные задачи прогнозирования региональных землетрясений.

Известно, что прогнозы землетрясений бывают долгосрочными, и краткосрочными. Долгосрочный прогноз нам дан картой сейсмического районирования ОСР-97. По сути, он рекомендует планировать землепользование и застройку. Гораздо сложнее получить краткосрочный прогноз с точным указанием места, интенсивности и времени землетрясения.

Пока наука к решению подобных проблем не подошла, даже в зонах высокой вероятности сильных землетрясений.

Видимо, в таких условиях наиболее целесообразным является строительство объектов, гарантированно устойчивых при максимальном воздействии прогнозируемого землетрясения.

Но как быть с теми объектами, которые уже построены, тем более с производственными объектами, которые являются потенциально опасными? На этот вопрос ответа также не имеется.

Не менее важными являются психологические вопросы поведения населения, обслуживающего персонала, которое никогда не ведало, что такое землетрясение? Сюда же можно отнести вопросы обученности и подготовки управленческого персонала, способного принимать решения при ликвидации последствий землетрясений.

Таким образом, назревающая новая проблема требует от нас адекватных действий. Некоторые из них можно заимствовать из опыта других регионов. Другие, исходя из конкретной ситуации, присущей нашим конкретным условиям, нарабатывать самостоятельно. Необходимо изменение идеологии в вопросах проектирования, строительства, мониторинга землетрясений и организации аварийно-спасательных работ.

Список использованной литературы:

1. «Инженерный анализ последствий Спитакского землетрясения, происшедшего 7 декабря 1988 года в Армении» – Отчет. ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко, М. 1989г.
2. Уломов В.И. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных стран – ОСР-97. Объединенный институт физики Земли РАН. М., 2002.
3. РСН 60-86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ