

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СЕЙСМОЗАЩИТЫ СООРУЖЕНИЙ

СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ — СОВРЕМЕННАЯ АНТИСЕЙСМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ В РОССИИ

**В. И. СМIRHOV, канд. техн. наук, доцент
(ЦИСС ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, Москва)**

В статье приведены трагические примеры последствий сильных землетрясений, в результате которых погибло более 60% от общего числа жертв и произошло больше половины экономических потерь от всех природных катастроф, вместе взятых. Приведены примеры запроектированных, строящихся и построенных высотных зданий различного назначения в городах Сочи и Грозном. Все представленные здания обеспечены системами сейсмической защиты в виде сейсмоизоляции.

Ключевые слова: последствия землетрясений, проектирование в сейсмических районах, высотные здания, сейсмоизоляция, демпфирование, мониторинг зданий.



1. Введение

Землетрясения являются страшным бедствием, которые в настоящее время невозможно точно предсказать при краткосрочном прогнозе. По данным сейсмологов, ежегодно на Земле происходит около миллиона землетрясений. Сильные землетрясения, вызывающие значительные разрушения, происходят на планете примерно один раз в две недели. Большая их часть приходится на дно океанов, и поэтому не сопровождается катастрофическими последствиями. В некоторых случаях, при возникновении землетрясений в море или океане могут возникнуть гигантские волны, называемые цунами, которые приносят бедствия и разрушения в прибрежных зонах.

Анализ статистических данных последствий различных природных катастроф: землетрясений, вулканов, наводнений, тайфунов, торнадо, ураганов показывает, что от землетрясений погибает более 60% от общего числа жертв и происходит больше половины экономических потерь от всех природных катастроф, вместе взятых.

Сейсмологами отмечается, что во всем мире происходит активизация глобальной сейсмичности. В последние годы произошли катастрофические землетрясения: в Китае, Турции, Италии, Иране, на Гаити, у берегов Чили. Постоянное увеличение урбанизации территорий повышает риск проживания людей в сейсмических районах и предъявляет новые требования к обеспечению надежности зданий и сооружений.

Прежде чем перейти к разработанным и применяемым Центром исследований сейсмостойкости сооружений

(ЦИСС) ЦНИИСК инновационным способам сейсмозащиты зданий и сооружений в сейсмических районах России, следует напомнить о человеческих жертвах и экономических потерях в результате произошедших землетрясений за несколько последних лет.

2. Сильные землетрясения последних лет за рубежом

2.1. Землетрясения в Турции

17 августа 1999 года в Турции произошло землетрясение силой в эпицентре 9-10 баллов, магнитуда 6,8. Эпицентр землетрясения находился близ промышленного города Измит, расположенного в 80 км от г.Стамбула. Наиболее сильные толчки ощущались в пределах территории с населением около 18 млн человек. Землетрясением были разрушены более 5 тыс. зданий, уничтожены сотни километров автомобильных и железных дорог, нарушено электроснабжение и телефонная связь. Погибло от 17 до 50 (по различным оценкам) тыс. человек. Население всей Турции длительное время находилось в состоянии паники — толчки не прекращались несколько дней (рис.1).

25 августа 1999 года в столице Турции Анкаре зафиксировано новое землетрясение магнитудой 4,7. Всего в Анкаре зарегистрировано 6 подземных толчков средней силы. Землетрясение вызвало панику в г.Анкаре. Многие жители выбежали из домов.

Разрушительное землетрясение в юго-восточной турецкой провинции Ван магнитудой 7,1, произошло **23 октября 2011 года** в 16 км к северо-востоку от Вана. Гипо-



Рис.1. Последствия землетрясений в Турции



Рис.2. Последствия трех сильнейших землетрясений в Китае (12.05.2008, 25.05.2008, 20.04.2013)

центр землетрясения находился на глубине 16 км. В результате землетрясений 23 октября и 9 ноября в провинции Ван погибло около 640 человек, пострадало несколько тысяч, многие лишились крова.

2.2. Землетрясения в Китае

12 мая 2008 года в Китае в провинции Сычуань произошло землетрясение силой 9-10 баллов. Эпицентр магнитудой 7,8 находился всего в 90 км от административного центра провинции — г.Чэнду. Подземные толчки ощущались и в г.Пекине. 13 мая в провинции Сычуань произошло еще одно сильное землетрясение (рис.2).

По меньшей мере, 69195 человек погибло, 374177 — ранено, 18392 — пропало без вести. Более 45,5 млн человек из 10 провинций и районов были подвержены землетрясе-

нее 12500 человек получило ранения разной степени тяжести. Наибольшее количество жертв было зафиксировано в районе Лушан в г.Янь. В городе проживало 1,53 млн человек. Он расположен в 140 км от столицы провинции — г.Чэнду.

При последнем мощном землетрясении пятилетней давности в этом же районе погибло более 90000 человек.

2.3. Землетрясение в Италии

6 апреля 2009 года произошло разрушительное землетрясение в Италии в г.Аквила — административном центре области Абруцци в 90 км к северо-востоку от Рима (рис.3). Магнитуда землетрясения 6,7 по шкале Рихтера. Погибло 273 человека, 1500 ранено, 17000 остались без крова, жилые дома восстановлению не подлежат.



Рис.3. Разрушительное землетрясение в Италии

нию. Около 15 млн человек покинули свои дома и более 5 млн остались без крова. Приблизительно 5,36 млн зданий разрушено и более 21 млн домов повреждено в провинции Сычуань и других провинциях. Общий экономический ущерб оценивается в 86 млрд долларов США.

25 мая 2008 года в юго-западной китайской провинции Сычуань произошло новое разрушительное землетрясение. Магнитуда землетрясения — 6,4, интенсивность 9 баллов. От землетрясения пострадало в целом более 45,55 млн человек и около 15,15 млн человек эвакуировано из пострадавших зон. Новое землетрясение разрушило 70 тыс. домов в Китае.

20 апреля 2013 года на юго-западе Китая в провинции Сычуань произошло сильное землетрясение, магнитуду которого китайские сейсмологи оценили $M=7,0$, на глубине 12 км. За ним последовала серия подземных толчков магнитудой до 5,2. Всего сейсмологи насчитали более 700 подземных колебаний различной интенсивности.

Во время землетрясения погибло 203 человека и бо-

2.4. Разрушительное землетрясение на Гаити

Мощное землетрясение произошло на Гаити **12 января 2010 года**. После основного толчка магнитудой 7 было зарегистрировано множество повторных толчков, из них 15 с магнитудой более 5. Эпицентр находился в 22 км к юго-западу от столицы Республики Гаити Порт-о-Пренс, гипоцентр на глубине 13 км. Практически полностью был разрушен город Порт-о-Пренс — столица и главный порт Гаити. Под развалинами города буквально исчезли густонаселенные кварталы. По официальным данным число погибших составило 222570 человек, получивших ранения — 311 тыс. человек, пропавших без вести — 869 человек. Материальный ущерб оценивается в 5,6 млрд евро. Национальный дворец президента Гаити получил серьезные повреждения (рис.4).

2.5. Землетрясение в Чили

27 февраля 2010 года в Чили произошло землетрясение магнитудой 8,8 (рис.5). Одно из самых крупных землетрясений за последние полвека. Очаг землетрясения



Рис.4. Разрушительное землетрясение на Гаити



Рис.5. Разрушительное землетрясение в Чили

находился на глубине 35 км. Эпицентр — в 90 км от столицы Био-Био Консепсьон, второй агломерации страны по величине после Сантьяго. В большей степени от землетрясения пострадали регионы Био-Био и Мауле. В двух регионах погибло 540 и 64 человека соответственно. В области О'Хиггинс жертвами стихии стали 46, а в столичном регионе — 36 человек, около 500 ранено. Около 2 млн чилийцев остались без крова, повреждено 1,5 млн домов, из которых 500 тыс. не подлежат восстановлению. Землетрясение вызвало цунами, которые обрушились на 11 островов и побережье Мауле.

2.6. Землетрясение в Японии

Катастрофическое землетрясение у восточного побережья острова Хонсю в Японии магнитудой 9,0-9,1 произошло **11 марта 2011 года** (рис.6). Эпицентр землетрясения находился восточнее острова Хонсю, в 130 км к востоку от города Сендай и 373 км к северо-востоку от Токио. Гипоцентр наиболее разрушительного подземного толчка находился на глубине 32 км в Тихом океане. Это сильнейшее землетрясение в известной истории Японии. Сильные повторные толчки землетрясения продолжались 2 месяца.

Всего после основного толчка зарегистрировано более 400 афтершоков силой 4,5 и более магнитуд.

Землетрясение вызвало сильное цунами. Помимо массовых разрушений вследствие подземных толчков, мощные волны цунами опустошили восточное побережье Хонсю. В отдельных районах волна высотой до 10 м проникла вглубь территории на несколько км, уничтожив все на своем пути. Цунами распространилось по всему Тихому океану; во многих прибрежных странах, в том числе по всему тихоокеанскому побережью Северной и Южной Америки от Аляски до Чили.

Стихия спровоцировала глобальную катастрофу на японских островах. Серьезные проблемы возникли на атомной станции в префектуре Фукусима. Разрушено множество коммуникаций.

По состоянию на 5 сентября 2012 года официальное число погибших в результате землетрясения и цунами в 12 префектурах Японии составляло 15870 человек, 2846 человек числись пропавшими без вести в 6 префектурах, 6110 человек ранено в 20 префектурах.

По сообщению местных властей, в городе Минамисанрику пропавшими без вести числятся 9500 человек. Только



Рис.6. Катастрофическое землетрясение в Японии

в Сендае, по меньшей мере, 300 человек утонуло в результате цунами.

Отмечены пожары в 6 различных префектурах.

Ущерб от землетрясения в Японии оценивается в 16-25 трлн иен (198-309 млрд долларов).

3. Сильные землетрясения последних лет в России

Россия — страна, у которой более 30% территории находится в сейсмических районах и подвергается землетрясениями высокой сейсмической интенсивностью. Около 80% сейсмически опасных районов приходится на крупные и средние города. Такие сейсмические районы, как Курильские острова, о.Сахалин, Камчатка, Прибайкалье и Забайкалье, Алтай, Северный Кавказ постоянно подвергаются воздействию землетрясений различной интенсивности.

Краткий перечень прошедших землетрясений в России: Корякия 08.03.1991 (Камчатка); Шикотанское — 04.10.1994 (распространилось на все Курильские острова); Нефтегорское — 28.05.1995 (о.Сахалин); Углегорское — 02.08.2000 (о.Сахалин); Алтайское — 27.09.2003; Калининградское — 21.09.2004; Корякия — 17.04.2006; Невельск дважды — 18.08.2006 и 02.08.2007 (о.Сахалин); Байкальское — 28.08.2008 (пос. Култук); Грозненское — 14.10.2008; Сочи четырежды — 19.12.2011, 30.05.2012, 23.12.2012 и 26.12.2012; Республика Тыва — 27.12.2011; под Охотским морем — 24.05.2013 (зарегистрировано в Москве).

3.1. Землетрясение в Корякии, 1991 г.

8 марта 1991 года на территории Корякского Автономного округа произошло 8-балльное землетрясение с магнитудой около $M=7,0$ с очагом вблизи пос. Хаилино [1]. Хаилинское землетрясение возникло в месте, которое картой ОСР-78 было отнесено к 5-балльной зоне. По интенсивности сотрясений оно на 3 балла превысило оценки карты ОСР-78. Жертв не было.

21 апреля 2006 года разрушительное землетрясение произошло в Корякии (рис.7б) [1]. По величине магнитуды $M=7,6-7,8$ оно относится к крупнейшим. Однако сейсмический эффект в эпицентральной области, судя по повреждениям домов в населенных пунктах Хаилино, Тиличики и Корф, не превышал 8-9 баллов. Жертв не было. Подземные толчки ощущались в Олюторском и Карагинском районах Корякии. Среди многочисленных повторных толчков некоторые достигали магнитуды $M=7,0$.

3.2. Землетрясения на Курильских островах

5 октября 1994 года в районе острова Шикотан произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой $M=8,3$ [2]. Интенсивность сотрясений на острове превысила 9 баллов.

Остров опустился примерно на 60 см. Высота волн цунами достигала 8 м, а в бухте Церковной — почти 15 м. Повторные толчки (афтершоки) охватили большую территорию. Оно вызвало разрушения в городах и поселках, расположенных на Южных Курильских островах. От стихии погибло 11 человек. Практически, о.Шикотан был полностью разрушен.

На острове Шикотан в поселках Крабозаводск и Малокурильское пострадало 6 рыбозаводов, на берег были выброшены кунгасы, малые рыболовные сейнеры, танкевозы, а также большой корабль водоизмещением 62 тыс. т и длиной 150 м. Врытые в землю танки были перенесены волной на расстояние 200-250 м.

В г.Южно-Курильске несколько маломерных судов затонуло, другие были выброшены на берег, разрушены деревянные пирсы. Максимальная высота волны была равна 5-6 м.

15 ноября 2006 года самое крупное по магнитуде ($M=8,3$) в том году в мире было землетрясение с 10-11-балльным сейсмическим эффектом в эпицентре, в центральной части Курильской гряды, в северной части Симушир-Урупского района Курило-Охотского региона. Глубина гипоцентра 30 км. Расстояние от эпицентра до Петропавловска-Камчатского около 800 км.

13 января 2007 года в той же очаговой области, где 2 месяца тому назад случилось крупнейшее по магнитуде землетрясение, произошло еще одно землетрясение с магнитудой $M=8,2$ (рис.7с). Из-за относительно неглубокого расположения гипоцентра (глубина около 10 км) сейсмический эффект в эпицентре превысил 11 баллов.

Это землетрясение ощущалось от Камчатки до Японии по всем Курильским островам: в Северо-Курильске — силой 5-6, в Курильске — 4-5, в Петропавловске — 3-4, в Южно-Курильске и Малокурильске — 3 балла по 12-балльной шкале МСК-64.

Во время всех трех землетрясений, благодаря редкой заселенности и относительной удаленности сейсмических очагов от островов, жертв не было.

3.3. Землетрясения на Сахалине

28 мая 1995 года на северо-восточном побережье острова Сахалин произошел подземный толчок. В эпицентре сила толчков, по разным оценкам, достигала 8-10 баллов. Тектонический разрыв протяженностью свыше 80 км и амплитудой смещения до 8 м вспорол земную поверхность в эпицентральной области (рис.7а).

Землетрясение на Сахалине стало самым разрушительным в России за последние 100 лет. Его воздействие ощущалось всюду — на севере острова и во многих пунктах прилегающей части материка. Пострадали город Оха



Рис.7. Разрушительные землетрясения на Сахалине и Камчатке

(6-7 баллов) и поселки Сабо, Тунгор (7 баллов), Ноглики, Москальво, Колендо (5 баллов), Эхаби, Восточный-1, Некрасовка (5-6 баллов). Но наиболее тяжелые последствия землетрясение вызвало в городе Нефтегорске, который находился в 25-30 км западнее эпицентра главного толчка.

Строительство города началось в 1964 г. За 30 лет в нем было построено 17 пятиэтажных 80-квартирных жилых домов, 4 двухэтажных кирпичных и крупноблочных дома и другие постройки.

В результате землетрясения были полностью разрушены почти все здания и сооружения. Пятиэтажные дома, рассчитанные на 6-балльную нагрузку, развалились под собственным весом.

Под обломками зданий погибло 2,1 тыс. человек из 3,5 тыс., проживающих в поселке. Более 350 человек числятся пропавшими без вести. Из-под завалов было извлечено 2364 человека, однако для большинства медицинская помощь оказалась бессильной.

Катастрофа нанесла огромный ущерб экономике Сахалинской области. Ущерб превысил 600 млрд рублей в ценах 1995 г.

5 августа 2000 года произошло сильное землетрясение на о.Сахалин с расчетной интенсивностью в эпицентре 8-9 баллов ($M=7,1$) [3]. Землетрясение возникло в малонаселенном районе острова. Его эпицентр находился в 200 км к северу от г. Южно-Сахалинска. Землетрясение ощущалось силой 6 баллов на западном побережье в районе города Углегорск; в городах Макаров, Поронайск — силой 5 баллов, в Долинске и Ильинском — силой 4 балла, в Южно-Сахалинске — около 3 баллов. В поселке Никольское Углегорского района имелись разрушения (рис.76). Было нарушено энергообеспечение населенных пунктов в 3 районах центральной части Сахалина. В Углегорском районе обесточены высоковольтные линии электропередачи. Землетрясение сопровождалось оползнями, два из которых перекрыли дороги между городом Углегорском и поселком Краснополье, а также в районе поселка Заозерное. В области повреждено: 1390 жилых домов; 22 здания промышленных объектов; 2 объекта соцкультбыта; 32 км линий электропередач; 5 км линий связи; 3,3 км водопровода; 3 км автодорог; 1,5 км теплосети; 16 человек получили травмы, трое из них госпитализированы. Жертв не было.

2 августа 2007 года произошло разрушительное землетрясение на юге Сахалина магнитудой 6,8. Эпицентр землетрясения располагался примерно в 60 км от Южно-Сахалинска в районе города Невельска. В результате в г. Невельске погибло 2 человека, 13 травмировано. Без крова остались около 2500 человек.

15 января 2009 года ($M=7,6$) и **7 апреля 2009 года** ($M=7,0$) в центральной части Курильской гряды в южной части Северо-Курильского района произошли сильные землетрясения. Эпицентры этих землетрясений возникли в одной и той же очаговой области, где и в 2006 г. Благодаря чрезвычайно редкой заселенности этого района Курил никаких трагических последствий землетрясения 2009 г. не вызвали (рис.7в).

3.4. Горно-Алтайские землетрясения

27 сентября 2003 года в Кош-Агачском районе Республики Горный Алтай произошло 9-10 балльное земле-

трясение. Его магнитуда около $M=7,5$ по шкале Рихтера. Землетрясение произошло на границе России и Монголии, в 350 км юго-восточнее г.Бийска. Сотрясения в эпицентре составляли порядка 10 баллов (по шкале МСК-64). По центральным и южным районам Красноярского края толчки ощущались с силой 2-3,5 балла.

Гигантские трещины расщелили окрестности небольшого поселка Бельтир, оказавшегося всего в 5-6 км от эпицентральной области.

Поскольку этот район очень слабо заселен, а постройки, в основном, деревянные одноэтажные, это землетрясение не сопровождалось серьезными разрушениями и человеческими жертвами.

28 на 29 сентября 2003 года ощущались повторные подземные толчки по центральным и южным районам Красноярского края. Повторные толчки произошли на границе России и Монголии, в 350 км юго-восточнее г. Бийска. Магнитуда равнялась 6,0. В районах и городах разрушений и жертв не было.

1 октября 2003 года в Республике Алтай произошло землетрясение с магнитудой 8. Эпицентр землетрясения располагался в 40 км северо-западнее райцентра Кош-Агач. Серьезных разрушений и жертв не было.

3.5. Землетрясение на Байкале

27 августа 2008 года произошло мощное землетрясение. Эпицентр толчков находился на дне озера Байкал в 30 км от Байкальска, в 65 км к югу от Иркутска. Подземные толчки ощущались на всей территории Восточной Сибири. В Иркутске зарегистрированы толчки силой 6-7 баллов. В Байкальске сила толчков достигла 9 баллов, в Слюдянке — 8 баллов, в Култукке — 7 баллов. Несмотря на огромную мощность толчков, землетрясение практически не вызвало существенных разрушений, жертвы не были зарегистрированы.

3.6. Землетрясение в Республике Тыва

27 декабря 2011 года в Республике Тыва произошло землетрясение магнитудой 6,6-6,7. Эпицентр находился примерно в 100 км к востоку от Кызыла, административного центра Республики Тыва, в Каа-Хемском кожууне. Гипоцентр находился на глубине 10 км.

Толчки ощущались в Хакасии, Красноярском и Алтайском крае, Иркутской, Новосибирской, Кемеровской и Томской областях, Республике Алтай.

Ущерб, нанесенный Республике Хакасия, оценен в 5 млрд рублей.

3.7. Землетрясения в районе Сочи

19 января 2011 года в Сочи произошло землетрясение. Один подземный толчок, силой до 4 баллов, зафиксирован в Адлерском и Хостинском районах, а также в центре города Сочи. Наиболее ощутимым землетрясение было в Красной Поляне. Жертв и разрушений не было.

30 мая 2012 года землетрясение магнитудой 4,7 произошло в районе Сочи. Сила землетрясения приблизительно составила 3,5 балла. Эпицентр находился в акватории Черного моря, в 28 км западнее Сочи, а его очаг залегал на глубине 80 км. Маломощные подземные толчки 2-3 балла ощущались в 6 км от береговой линии.

В высотных домах двигалась мебель, со шкафов падала и разбивалась посуда. Пострадавших не было.

23 декабря 2012 года в акватории Черного моря, в 31 км южнее абхазского г.Сухуми было зарегистрировано землетрясение магнитудой 5,8 на глубине 10 км интенсивностью в эпицентре 6 баллов.

В г.Сочи землетрясение ощущалось по всей территории, причем даже на первых этажах зданий. Подземные толчки ощущались также в городах Анапе, Геленджике и Туапсе, а также в Ставропольском крае и Карачаево-Черкесии. Разрушений и жертв не было.

26 декабря 2012 года в акватории Черного моря, в 140 км юго-восточнее города Сочи, на глубине 10 км произошло землетрясение магнитудой 5,4 и силой в эпицентре до 7 баллов. В г.Сочи и Туапсинском районе ощущались толчки силой до 5 баллов.

В квартирах на первом этаже звенела посуда и двигалась мебель. Жители домов выбежали на улицу. Жертв и разрушений нет. Объекты экономики, инфраструктура и системы жизнеобеспечения работали в штатном режиме.

Землетрясения, прошедшие за последнее время в г. Сочи, относятся к относительно слабым воздействиям, которые не вызвали серьезных повреждений зданий и сооружений. Однако следует помнить, что в соответствии с действующими картами общего сейсмического районирования ОСР-97, в районах Большого Сочи могут происходить землетрясения: 8-ми, 9-ти, а в горных районах даже 10-ти балльные. Игнорировать этот факт просто недопустимо. Трагедия может произойти внезапно.

К Зимним Олимпийским играм 2014 года в г.Сочи должно быть построено 11 спортивных объектов общей вместимостью 200 тыс. зрительских мест. Среди них — Центральный стадион на 40000 сидячих мест, Ледовый дворец для фигурного катания, Большая и Малая ледовые арены для хоккея, конькобежный стадион, биатлонный комплекс, санно-бобслейная трасса, сноуборд-центр и многие другие (рис.8).

Учитывая уникальность и повышенную ответственность создаваемых шедевров архитектурных и конструктивных решений, проектировщикам и строителям следует скрупулезно и неукоснительно выполнять требования Федеральных законов, ГОСТов и нормативных документов по проектированию и строительству объектов в сейсмических районах.

3.8. Землетрясения под Охотским морем дошло до Москвы

24 мая 2013 года под Охотским морем на глубине

свыше 600 км произошло крупное землетрясение. По данным разных мировых сейсмологических служб оценки его магнитуды достигают $M=8,4$.

По данным Геофизической службы РАН (г.Обнинск) землетрясение ощущалось в Петропавловске-Камчатском и Северо-Курильске силой 5-6 баллов, в Кроноки — 5 баллов, в Апаче, Елизово, Термальном, Паратунке, Вилючинске, Крутоберегово — 4-5 баллов, Усть-Большерецке, Ганалах, Мильково, Раздольном, Паужетке, Никольском (о-в Беринга) — 4 балла, в Вулканном, Козыревске, Ключах — 3-4 балла, в Малокурильском, Холмске — 3 балла, в Южно-Сахалинске, Магадане, Хабаровске, Благовещенске, Красноярске, Казани, Охе — 2-3 балла, в **Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде — 2 балла.**

Сейсмическое событие с такой высокой магнитудой зарегистрировано впервые в районе Охотского моря, хотя глубокофокусные землетрясения происходят там регулярно. Последнее из них имело магнитуду 7,7 и наблюдалось в июле 2008 года.

Что касается сейсмического воздействия на г.Москву, то следует заметить, что землетрясение для зданий и людей было совершенно неопасным, хотя вызвало большой интерес у специалистов сейсмологов и строителей. Хорошо известно, что высокие здания существенно — на 1-2 балла и даже более могут усилить амплитуду колебаний верхних этажей. Увеличение балла в высотных и гипервысотных (появился такой термин) зданиях происходит за счет динамических характеристик самого сооружения, которые зависят от конструктивного решения несущих и ненесущих конструкций, а также от локальных грунтовых условий.

Так, например, для Москвы для зданий высотой 9-10 этажей воздействие данного землетрясения, практически, не ощущалось людьми, а в высотных зданиях были отмечены: раскачивания люстр, звон и дребезжание посуды, неадекватное поведение кошек и собак.

Можно отметить, что во всем мире не известны случаи повреждения высотных зданий даже при самых сильных разрушительных землетрясениях.

3.9. Вывод

В кратком обзоре, приведенном выше, показаны трагические последствия прошедших сильных землетрясений.

К сожалению, человеческая память очень короткая к редким катастрофическим событиям, а должностные люди, от которых зависит принятие решения в настоящий момент, начинают принимать меры только после произошедшей катастрофы.



Рис.8. Спортивные объекты для Зимней Олимпиады в г.Сочи

4. Нормативные требования

Минрегион России утвердил свод правил СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*» (далее СП) и ввел его в действие с 20 мая 2011 года [4]. Положения СП распространяются на область проектирования зданий и сооружений, возводимых на площадках сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов, высотой до 75 м.

В п.4.2 СП дается указание, что проектирование зданий высотой более 75 м необходимо осуществлять при сопровождении компетентной организации. Внесение в СП такой записи вызвано тем, что нет нормативных документов, регламентирующих проектирование зданий высотой более 75 м в сейсмических районах России.

Высотные и уникальные здания, здания с принципиально новыми конструктивными решениями и не прошедшие проверку в практике строительства, здания с системами сейсмоизоляции и демпфирующими устройствами следует проектировать в соответствии с п.8 ст.6 Технического регламента о безопасности зданий и сооружений [5] и п.5 раздела 1 Положения о составе разделов проектной документации и требований к их содержанию [6].

В случае если для подготовки проектной документации требуется отступление от требований, установленных национальными стандартами и сводами правил, недостающих требований к надежности и безопасности или такие требования не установлены, подготовка проектной документации и строительство зданий и сооружений осуществляется в соответствии со специальными техническими условиями (СТУ), разрабатываемыми и согласовываемыми в порядке, установленном уполномоченным органом исполнительной власти.

Порядок разработки и согласования СТУ для разработки проектной документации на объект капитального строительства приведен в Приказе Минрегиона России от 1 апреля 2008 года № 36 [7].

Являясь членом экспертного совета по рассмотрению СТУ при Минрегионе России, постоянно сталкиваюсь с непониманием разработчиков СТУ с задачами, которые стоят перед ними при разработке СТУ.

СТУ — это нормативный документ, который должен:

- а) следовать требованиям Приказа Минрегиона России № 36;
- б) отвечать требованиям ГОСТов, предъявляемым к разработке нормативных документов;
- в) включать детальное обоснование необходимости его разработки;
- г) включать компенсирующие мероприятия к отступлению от нормативных требований;
- д) содержать недостающие требования по проектированию объекта, касающиеся обеспечения надежности и безопасности на стадиях возведения, эксплуатации и возможного сейсмического события (аварийная ситуация).

Как правило, Заказчик, чтобы сэкономить на разработке СТУ, вместо того, чтобы поручить разработку СТУ специализированной или научно-исследовательской организации, имеющей опыт по созданию нормативных документов, поручает проектной организации написать СТУ. Естественно, отсутствие соответствующего опыта работы по созданию нормативных документов, толкает проекти-

ровщика переписать положения проектной документации как требования СТУ. Естественно, согласовать такие СТУ не представляется возможным. Необходимо подчеркнуть, что в действующих сейсмических нормах отсутствуют ограничения к развитию сечений несущих элементов, а повышение прочности элементов и увеличение армирования сечений не являются компенсирующими мероприятиями к отступлению от нормативных требований.

Как правило, разработчики СТУ предлагают в качестве компенсирующих мероприятий повысить класс бетона, увеличить сечения несущих элементов и их армирование для обеспечения прочности и трещиностойкости несущих элементов.

Архитекторы предпочитают большие свободные пространства и используют конструктивные схемы для высотных зданий в виде несущих железобетонных каркасов. Желание иметь плоские без внутренних ребер потолки приводят их к выбору в качестве перекрытий — железобетонные каркасы с безригельными перекрытиями больших пролетов.

Изучение опыта последствий землетрясений показал, что неверно запроектированные железобетонные каркасные здания при сильных землетрясениях во всех уголках мира вели себя наихудшим образом: наблюдалось полное или частичное разрушение зданий и большое количество людских жертв. Последние последствия разрушений каркасных зданий при землетрясениях трижды в Китае (2008 г., 2013 г.), Италии (2009 г.), Чили (2010 г.), Гаити (2010 г.) и Японии (2013 г.) показали, что нужно очень осторожно относиться к проектированию каркасных зданий в сейсмических районах. Имеется устойчивая статистика их разрушений, хотя причины коллапса зданий были различными.

Очень часто разработчики СТУ ошибочно к компенсирующим мероприятиям относят в качестве обоснования принятых конструктивных решений зданий, которые не соответствуют требованиям норм, — проведение расчетов по пространственным расчетным схемам и использование пространственных моделей сейсмических воздействий. Проведение расчетов по сложнейшим программам не является компенсирующим мероприятием по снижению негативных последствий принятых отклонений в проекте здания от требований норм.

Зарубежные специалисты, проектирующие высотные здания в сейсмических районах России, желая применить вычурные архитектурные и несейсмостойкие конструктивные решения, в качестве подтверждения возможного их применения пытаются сослаться: на европейские нормы Еврокод 8 [8], на американские нормы IBC-2012 [9] или на Рекомендации по антисейсмическому проектированию высотных зданий [10]. Ни положения Еврокода 8, ни требования американских норм IBC-2012 не предназначены для проектирования высотных зданий в сейсмических районах. А ссылка на «Рекомендации...» [10], разработанные Советом по высотным зданиям и городской среде обитания, неверна по тем причинам, что, во-первых, они являются зарубежными нормами, не имеющими официального статуса нормативного документа в России, а, во-вторых, положения «Рекомендаций...» носят общий характер и не конкретизируют требования по проектированию высотных зданий в сейсмических районах.

5. Обеспечение надежности зданий — применение инновационной системы сейсмозащиты

Во всем мире наблюдается всплеск проектирования и строительства высотных зданий и небоскребов. Проектирование высотных зданий существенно отличается для различных сейсмически активных районов. Каждое высотное здание разрабатывается по индивидуальному проекту, а при высоте более 100 м Градостроительный кодекс относит к уникальным [17]. Как правило, для таких зданий неприменимы традиционные методы антисейсмической защиты, хотя российские инженеры пытаются использовать при проектировании опробованные конструктивные решения многоэтажных зданий.

Одним из эффективных способов обеспечения надежности высотных, уникальных и повышенной ответственности зданий и сооружений является применение сейсмоизоляции и демпфирующих устройств. Применение инновационных систем сейсмозащиты позволяет в 2-3 раза снизить сейсмическую нагрузку на здание, а кроме того, является компенсирующим мероприятием, удовлетворяющим требованиям Приказа Минрегиона России № 36 [7].

Различные системы сейсмической защиты зданий и сооружений от землетрясений начали развиваться в СССР еще в 60-х гг. XX века в Центре исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК. В 1978 г., впервые в мире, массовое внедрение новых сейсмозащитных, адаптивных систем началось во время строительства Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ). Был построен целый город из домов с применением принципиально новых систем сейсмоизоляции (рис.9).

В Новой Зеландии, США, Японии к исследованиям методов сейсмоизоляции зданий приступили только в начале 80-х гг. XX века.

Толчком, который вызвал буквально бум в применении сейсмоизоляции, явилось катастрофическое землетрясение в Японии, в г.Кобе в январе 2005 года. Во время землетрясения в г.Кобе погибло более 6 тыс. человек. В эпицентре землетрясения было 2 сейсмоизолированных здания, которые не получили никаких повреждений. Отличное поведение этих зданий при сильнейшем землетрясении послужило импульсом к широкому применению сейсмозащитных систем. В Японии построено уже более 6 тыс. домов, оснащенных системами сейсмоизоляции и демпфирующими устройствами.

Опережающими темпами проектируются и строятся такие здания в Китае, в стране налажено производство современных сейсмозащитных систем. Строятся сейсмоизо-



Рис.9. Панорама крупнопанельных зданий с выключающимися связями в г.Северобайкальске

лированные здания в США, Италии, Новой Зеландии, Иране, Южной Кореи, Чили и других странах.

В России построено уже более 600 зданий с использованием различных инновационных систем сейсмозащиты. В их числе здания массового строительства, культурные центры, небоскребы, исторические памятники, культовые сооружения, школа. Этот перечень можно было бы продолжить [11-16]. Ниже приведены примеры только вновь построенных зданий и сооружений с системами сейсмозащиты, при проектировании которых принимали участие специалисты ЦИСС ЦНИИСК.

5.1. Российский международный олимпийский университет и многофункциональный гостинично-рекреационный комплекс в г.Сочи (в 2013 г. строительство будет завершено)

Для повышения надежности зданий и снижения сейсмических нагрузок в 7 из 10 блоках комплекса Российского Олимпийского университета запроектирована и установлена система сейсмоизоляции в подвальных этажах (рис.10). В связи с этим, были разработаны СТУ, в которых включены недостающие требования в действующих нормативных документах.

Строящийся комплекс «Олимпийский университет» состоит из 10 зданий и располагается вдоль побережья Черного моря и имеет сложный контур в плане и условно делится на две зоны:

— первая часть (верхняя зона) имеет размеры в плане около 165 x 145 м, расположена в верхней части (северо-востоке) комплекса и состоит из блоков 1, 2, 3, 4, 5 высотой 4-15 этажей с одноэтажной подземной частью, глубиной до 8,5 м;



Рис.10. Российский международный олимпийский университет в процессе строительства

— вторая часть (нижняя зона) имеет размеры в плане около 240 x 24 м, расположена в нижней части (юго-западе) комплекса и состоит из блоков 6, 7, 8, 9 с количеством этажей 6-17, построенных на склоне, разрезая его на глубину до 25 м. Кроме того, в самом южном углу платформы запроектирован 2-этажный торговый блок 10.

Согласно выполненным работам по инженерно-геологическим изысканиям сейсмичность площадки строительства составляет 8 баллов по шкале MSK-64.

Здания комплекса имеют следующие назначения: образовательное и административное здание Российского международного олимпийского университета (блок 1); трехзвездочная гостиница (блок 2); пятизвездочная гостиница (блок 3); четырехзвездочная гостиница (блок 4); административное здание (блок 5); гостиницы апартаментного типа (блоки 6-8). Блоки с первого по четвертый запроектированы в рамно-связевой конструктивной системе, с монолитными железобетонными колоннами, развитыми в поперечном сечении, с жестким ядром лестнично-лифтовой шахты и диафрагм из монолитного железобетона. На отметке 59,0 блока 3 запроектирован бассейн и фитнес-центр. Надземные этажи имеют высоту от 3,6 до 4,8 м. Конструктивная схема круглой части здания №5 каркасная, из монолитных железобетонных колонн. Стены ядер жесткости — лестнично-лифтовые шахты запроектированы из монолитного железобетона. Блок №5 отделяется от блоков 1, 2, 3 и 4 антисейсмическими швами. Подземная автостоянка размещается в подземном этаже. Конструктивная схема здания каркасная, с монолитными железобетонными колоннами, ядром жесткости из стен лестницы и стен пандусов. Подземная автостоянка разделена антисейсмическими швами на секции.

Блоки №6-9 запроектированы в смешанной конструктивной системе, с монолитными железобетонными поперечными стенами, колоннами, пилонами, работающими совместно с дисками перекрытий. Пространственная жесткость зданий комплекса обеспечивается совместной работой вертикальных железобетонных стен, диафрагм жесткости, колонн и горизонтальных монолитных железобетонных плит перекрытий.

Система сейсмической изоляции зданий. Принимая во внимание, что принятые смешанные конструктивные решения зданий не вписываются в действующие нормативные требования, поэтому в качестве компенсирующих мероприятий для обеспечения сейсмостойкости зданий при расчетных сейсмических воздействиях предложен

инновационный способ сейсмической защиты зданий — устройство сейсмоизоляции.

Сейсмоизолирующие устройства снижат инерционные сейсмические нагрузки на здание за счет значительного увеличения собственного периода колебаний здания и повышенного демпфирования. Система сейсмоизоляции в зданиях принята в виде резинометаллических опор со свинцовыми сердечниками (РМО). РМО обладают высокой горизонтальной податливостью, допускающей большие горизонтальные перемещения грунта, без каких-либо повреждений. Системы сейсмозащиты установлены в нижних частях зданий: корпусов 1-4 на уровне верха фундаментной плиты, а в корпусах 6-8 на уровне 6-7-го ярусов.

В 6 блоках комплекса установлено 996 резинометаллических опор со свинцовыми сердечниками, производимыми китайской фирмой US.VF CORP «OMNI DEVICE».

Для исключения соударения здания с соседними зданиями и конструкций внутри блока во время расчетного землетрясения предусмотрены зазоры (горизонтальные и вертикальные антисейсмические швы). С целью проведения текущего и аварийного обслуживания и замены сейсмоопор предусмотрено свободное пространство в местах их установки.

5.2. Высотный жилой комплекс «Заря» в г.Сочи

В г.Сочи по Курортному проспекту 108 запроектирован и строится жилой комплекс, состоящий из четырех 27-33-этажных домов [12, 13, 16].

Первоначальный вариант фасадов и конструктивных решений зданий комплекса «Заря» был разработан известной югославской фирмой «Датонг групп» (рис.11а). Заказчик комплекса — российская фирма «ГРАС». Наступивший в 2008 г. экономический кризис привел к смене инвестора этого проекта. К тому времени подземные и 2 надземных этажа 27-этажного дома уже были возведены. Тем не менее, по заданию инвестора фасад дома и его конструктивное решение было переработано. В связи с тем, что в 2014 г. начнутся Зимние Олимпийские игры, в первую очередь принято решение о завершении строительства 27-этажного дома (рис.11г).

По функциональному назначению здание является жилым и включает в себя помещения автостоянок, кафе, жилой зоны. Здание является сложным в плане, переменной этажности, оборудовано закрытыми и панорамными лифтами и лестничными клетками, две из которых прорезают все



Рис.11. Жилой дом с системой сейсмоизоляции по Курортному проспекту в г.Сочи:
а — перспектива первоначального варианта здания; б — РМО со свинцовым сердечником;
в — устройство закладных пластин под опоры; г — новый вид здания.

здание по высоте и имеют непосредственный выход на технические этажи и крышу здания. Сейсмичность площадки 9 баллов по шкале MSK-64.

Здание включает высотный жилой блок и 3-этажную автостоянку, которые отделены друг от друга горизонтальным антисейсмическим швом. Здание имеет два подземных, цокольный этаж и 24 надземных этажа.

Здание запроектировано в смешанной конструктивной системе — каркасно-стеновой с железобетонными рамами-диафрагмами и железобетонными стенами. Междуетажные перекрытия — неразрезные монолитные железобетонные плиты.

Пространственная жесткость здания жилого комплекса обеспечивается совместной работой системы вертикальных железобетонных стен и диафрагм, колонн и горизонтальных дисков монолитных железобетонных перекрытий. В подземной части строения жесткая конструкция заключена в жесткую коробчатую систему, образованную подпорными стенами котлована, контурными железобетонными стенами и фундаментной плитой.

дены два подземных и два надземных этажа. Концепция внешнего вида представлялась в виде «парящий парус». Как и в жилом доме, упомянутом выше, по заданию инвестора фасад гостиницы, планировочные решения этажей и соответственно конструктивное решение были переработаны (рис.12в).

Объемно-планировочное решение высотной гостиницы представляет собой сложную пространственную систему, со смещенным центром масс, как в плане, так и по высоте.

Высота 1-го и 2-го подвальных этажей соответственно 2,8 и 3,3 м, надземных — технического и жилых этажей — 3,2 м. Высота гостинично-туристического комплекса 93,16 м.

Здание гостиницы относится к каркасным зданиям с диафрагмами и ядрами жесткости. Несущие конструкции здания решены в пространственной рамно-связевой системе с железобетонным ядром жесткости. Шаг продольных стен составляет 9,4 и 2,6 м, шаг поперечных стен составляет 10,5 м, шаг колонн в поперечном направлении 3,5 м. По периметру блоков устроены консольные балконы, вынос



Рис.12. Высотное здание 27-этажной гостиницы в процессе строительства в г.Сочи:
а — перспектива первоначального варианта здания; б — устройство РМО со свинцовым сердечником;
в — новый вид здания.

Сейсмоизоляция. Для выполнения проекта застройки высотными жилыми домами были разработаны и согласованы СТУ с использованием сейсмоизолирующих резинометаллических опор со свинцовыми сердечниками. Необходимость разработки СТУ возникла в связи с отступлениями в проекте от требований действующих норм. Общее количество сейсмоизолирующих опор 160 штук. Производителем и поставщиком опор являлась китайская фирма «US.VF CORP OMNI DEVICE». Проект прошел государственную экспертизу. В настоящий момент все опоры на первом здании уже смонтированы, и здание готовится к сдаче в эксплуатацию.

5.3. Высотная 27-этажная гостиница «Науат» в г.Сочи

Высотное здание 27-этажной гостиницы по ул.Орджоникидзе в г.Сочи находится в стадии завершения строительства [12, 13, 16]. Как многие другие здания, находящиеся в процессе проектирования и строительства, попали в экономический кризис 2008 г. В процессе строительства гостиницы так же произошла смена инвестора.

До экономического кризиса Заказчиком проекта была корпорация «СТ ГРУПП». Проектирование и строительство гостиницы производила известная итальянская фирма «Codest International S.r.l.» (рис.12а). К 2008 г. были возве-

данных которых составляет 1,8-2,0 м. Частично ограждающие конструкции выполнены в виде сплошного остекления.

Шаг несущих конструкций подземной части здания, которая включает в себя автомобильную стоянку, несколько отличается от надземной части: в продольном направлении шаг несущих конструкций 7,8, 8,09,2 и 2,6 м, а в поперечном 4,0, 8,2, 8,0 и 3,5 м.

Лестнично-лифтовый узел, являющийся ядром жесткости, расположен в центральной части здания. В здании предусмотрено 3 лестничные клетки, 4 пассажирских и 1 грузовой лифт.

Характеристика основных конструкций. Конструктивный остов здания — железобетонная рамно-связевая система с ядром жесткости.

Фундамент здания — сплошная железобетонная плита толщиной 2,0 м из бетона класса В35W. Стены приняты переменной толщины от 800 мм на уровне подвала до 200 мм на верхних этажах. Класс бетона стен — В30. Перекрытия — монолитные железобетонные, толщиной 200 мм. Класс бетона перекрытий — В25. Стволы лестнично-лифтовых узлов представляют собой ядро жесткости с проемами. Выполняются из монолитного железобетона класса В30.

Колонны на нижних этажах приняты максимальными сечением 1500×1200 мм, на верхних этажах, с отметки 15,9 м

минимальными 600×600 мм. Вес здания над системой сейсмоизоляции составляет 75000 кН.

Сейсмоизоляция. Для выполнения проекта гостинично-туристического комплекса были разработаны и согласованы СТУ с использованием сейсмоизолирующих резинометаллических опор с повышенным демпфированием. Необходимость разработки СТУ возникла в связи с отступлениями в проекте от требований действующих норм.

Общее количество сейсмоизолирующих опор 193 единицы. Производителем и поставщиком опор являлась итальянская фирма «FIP Industrial». В проекте применены два типа опор: 1) SI-H 1000/168 в количестве 149 шт.; 2) SI-H 1100/168 в количестве 44 шт. Для опор первого типа максимальная расчетная вертикальная нагрузка — 14000 кН, для второго типа — 18000 кН. Максимально возможные перемещения составляют 250 мм, расчетное затухание — 20%.

Проект прошел государственную экспертизу. В настоящий момент все опоры на первом здании уже смонтированы, и здание готовится к завершению строительства.

5.4. Высотный 41-этажный жилой дом в г.Грозном

Комплекс из 7-ми высотных зданий в Грозном был назван — «Грозный-Сити» (рис.13). Здания расположены в центре города, по проспекту имени А-Х.А. Кадырова, на берегу реки Сунжа.

Башня «Феникс» комплекса «Грозный-Сити» является третьим самым высоким жилым зданием за пределами Москвы и Екатеринбурга и первым 41-этажным высотным зданием в 9 балльном сейсмическом районе России (в 7 и 8 балльных сейсмических районах зданий такой этажности нет).

Объемно-планировочное решение

Общая площадь комплекса — 4,5 га. Построено 7 высотных зданий (жилые дома, гостиница, офисно-деловой центр): одно 41-этажное, одно 30-этажное, три 28-этажных и два 18-этажных. Общее количество квартир в жилых зданиях — 1000. Полезная площадь одной квартиры составляет от 100 до 200 м². На двух первых этажах жилых домов размещены торговые центры. Рядом с жилыми зданиями возведены 28-этажная пятизвездочная гостиница на 303 номера и 30-этажный офисно-деловой центр общей площадью 1200 м² с вертолётной площадкой на крыше. В гостиницу входят два бассейна, 3 ресторана, кафе под прозрачным куполом на 32 этаже, торговые павильоны. Под каждой из высоток предусмотрены двухъярусные подземные автостоянки с общей вместимостью около 3000 единиц автотранспорта.

Башня «Феникс» запроектирована по индивидуальному проекту и представляет собой 41-этажный жилой дом с 4-х уровневым стилобатом (два подземных и два надземных уровня), выступающим за габариты высотной части.

По функциональному назначению здание разделяется на 3 зоны: зона автопаркинга, торговая зона и жилая часть. Кроме того, имеются: технический этаж на отм. +134,4 м; технические объемы на отм. +42 м, +101,4 м и вертолетная площадка.

Зона автопаркинга запроектирована по периметру подземной части стилобата. В центре под высотным объемом имеются помещения убежища с подсобными помещениями и технические помещения.

Подземная часть стилобата — 2-этажная. Высота 2-го подвального этажа (на отм. -7,1 м) — 3,2 м. Высота 1-го подвального этажа (на отм. -3,9 м) — 3,9 м. Торговая зона запроектирована на отм. ±0,0 и +4,5 м (надземный стилобат). Высота этажей 4,5 м. Общая высота стилобатной надземной части здания: 9,0 м. Габаритные размеры подземной части стилобата в плане: 80,0 × 74,6 м (в осях). Габаритные размеры надземной части стилобата в плане: 64,0 × 56,0 м (в осях).

Жилая часть — 38-этажная (с 3-го по 40 этажи). Высота этажей 3,3 м. На первом этаже располагается вестибюль с контролем прохода. Высота 1-го этажа 4,8 м.

Габаритные размеры высотной части здания в плане: 35,0 × 35,0 м (в осях). 41-й этаж — технический этаж. Высота этажа 3,15 м. Высота здания в соответствии с примечанием к табл.8* СНиП II-7-81* — 155,3 м.

Здание имеет единый лестнично-лифтовый узел, расположенный в центральном ядре, с двумя лестничными клетками и 6-ю лифтами, в т.ч., 1 пожарный лифт. Торговая зона дополнительно снабжается двумя лестничными клетками.

Уровень ответственности здания — I (повышенный). Коэффициент ответственности по назначению принят $\gamma = 1,15$.

Конструктивное решение здания

Конструктивное решение фундамента. Фундаментом в здании является монолитная железобетонная плита толщиной 3000 мм, устроенная по свайному основанию. Сваи железобетонные буронабивные диаметром 800 мм, шаг 2100 мм.

Характеристики элементов каркаса. Конструктивная схема здания — перекрестно-стеновая с поперечными и продольными несущими стенами из монолитного железобетона. Пространственная жесткость секций здания при действии ветровых и сейсмических нагрузок обеспе-



Рис.13. Комплекс высотных зданий «Грозный-сити» с 40-этажной башней «Феникс»

чена совместной работой вертикальных несущих стен, объединенных дисками перекрытий.

Стены — железобетонные монолитные толщиной — 400, 500, 600, 700 и 1000 мм. Перекрытия — монолитные железобетонные толщиной 200 и 300 мм. Колонны — монолитные железобетонные сечением 1200 x 600 мм. Лестничные марши и лифтовые шахты — монолитные железобетонные толщиной 200, 300 и 400 мм.

Сейсмоизоляция. С целью повышения сейсмостойкости проектируемого здания установлены резинометаллические сейсмоизолирующие опоры со свинцовыми сердечниками (РМО) в подземной части стилобата на отм. –5,216 м в стенах и на отм. –7,1 м под лифтовыми узлами (рис.7а). Для отделения конструкций высотной части от стилобата и фундаментов выполнены антисейсмические швы. РМО установлены на монолитные железобетонные столбы, опирающиеся на сплошную фундаментную плиту из монолитного железобетона. По сейсмоопорам устраивается монолитное балочное железобетонное перекрытие, служащее платформой для надземных конструкций.

Производителем и поставщиком опор являлась китайская фирма «US.VF. CORP OMNI DEVICE». В здании установлены два типа РМО со свинцовыми сердечниками: GZY800V5A типоразмера $\varnothing 820 \times 241$ с расчетной несущей способностью 7300 кН и расчетными перемещениями 152 мм; GZY1000V5A типоразмера $\varnothing 1020 \times 259$ с расчетной несущей способностью 11500 кН и расчетными перемещениями 160 мм.

Рисунок с горящим 41-этажным зданием в г.Грозном, представленный выше (рис.13в), обошел многие СМИ. Пожар в здании, конечно, это случайность. Но у организации-разработчика СТУ, СММК, СМИС, а также выполнившей расчеты этого высотного здания, накоплены замечания, которые, практически, касаются проектирования и строительства большей части высотных зданий, строящихся в сейсмических районах России.

Во-первых, при проектировании комплекса нарушения: Федеральный закон [15], Постановление Правительства РФ № 87 [6], Приказ № 36 Минрегиона России [7] и ГОСТ [19].

Пять зданий комплекса «Грозный-Сити», за исключением двух 18-этажных зданий, согласно Градостроительно-му кодексу [17], относятся к уникальным объектам. В свою очередь это означает, что при проектировании и строительстве комплекса должны соблюдаться требования: Федерального закона [15], ГОСТ [19], Постановления Правительства РФ № 87 [6], Приказа № 36 Минрегиона России [7] и других документов.

Хотя два 18-этажных здания к уникальным не относятся, тем не менее, все здания комплекса, согласно [7], должны были быть запроектированы по Специальным техническим условиям (СТУ). Действующие нормы по проектированию в сейсмических районах [4, 18] распространяются на проектирование зданий на 9 балльных площадках до 16 этажей включительно.

Следует отметить, что для 41-этажного здания СТУ были разработаны и согласованы в Минрегионе России в соответствии с действующим законодательством. Для остальных 6 зданий комплекса СТУ не разрабатывались. Следовательно, проектирование этих зданий велось без соблюдения специально разработанных требований

для высотных зданий, возводимых в сейсмических районах.

Во-вторых, на основании Федерального закона от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [15], должны быть разработаны проекты систем СММК и СМИС и реализованы в зданиях.

СММК расшифровывается как «система мониторинга инженерных конструкций». Главная цель мониторинга — повышение безопасности и эксплуатационной надежности сооружений, т.е. установка на объекте автоматической системы мониторинга конструкций.

Идея создания и применения мониторинга объектов строительства появилась не случайно. Это легко объясняется участвовавшими в последнее время авариями строительных конструкций на объектах с массовым пребыванием людей. Чтобы избежать человеческие жертвы, необходимо осуществлять монтаж СММК на объекте.

С точки зрения безопасности на этапах возведения и эксплуатации сооружений, в соответствии с Законом [15], требуется создавать на объектах системы непрерывного (в режиме реального времени) мониторинга несущих конструкций. Аппаратно-программные средства упрощают периодическое обследование несущих конструкций объекта и позволяют своевременно обнаружить на ранней стадии: осадки, деформации и перемещения грунта, конструкций основания и несущего каркаса здания. Если вовремя не обратить внимание на подобные изменения, это может привести к разрушению, нарушению устойчивости возводимых конструкций, повлечь людские и материальные потери.

Согласно нормативному документу ГОСТ Р 22.1.12-2005 [20], СМИС — это система мониторинга инженерных систем зданий или сооружений. **СМИС** предназначена для автоматизированного сбора информации от инженерных систем объекта, контроля возникновения дестабилизирующих факторов и передачи оперативной информации по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в Единую систему оперативно-диспетчерского управления города.

Нами были разработаны проекты СММК и СМИС для 41-этажного здания на этапе проектирования. Системы **СММК и СМИС** должны были установить в процессе строительства и использоваться на стадии эксплуатации для обнаружения на ранней стадии негативных факторов, способных повлечь ухудшение технического состояния объекта или его разрушение.

В 41-этажной башне установлена система сейсмоизоляции, но наблюдений за поведением которой при землетрясениях в высотных зданиях в России примеров нет. Хотя текущего ухода за РМО не требуется, однако архиважно было проводить текущий мониторинг поведения РМО во время возведения высотной части здания и при дальнейшей эксплуатации. К сожалению, проект устройства СММК в башне «Феникс» не был реализован и у ЦИСС ЦНИИСК нет информации о реальном напряженно-деформированном состоянии наиважнейшей системы — системы сейсмоизоляции, обеспечивающей надежность и безопасность здания.

Следует отметить, что в процессе строительства увеличились нагрузки не только статические, но и сейсмиче-

ские на несущие конструкции здания. После возведения несущих конструкций на здание установили не учтенные при проектировании объекта огромнейшие часы, создающие внецентренную неучтенную в расчетах нагрузку и вызывающие дополнительное кручение здания. Анализ возникших фактических напряжений в нижних несущих конструкциях и перерасчет усилий в здании не были произведены.

Проект СМИС также не был реализован в здании. Поэтому во время пожара не произошел автоматизированный сбор информации от инженерных систем объекта (состояние вентиляции, электропроводки и др.), контроль возникновения задымления и передача оперативной информации о чрезвычайной ситуации в Единую систему оперативно-диспетчерского управления города.

В-третьих, в соответствии с п.6, ст.15, гл.3 ФЗ №384 [15], п.3.1.4 и 3.1.5 ГОСТ [19] и СТУ на проектирование 41-этажной башни, для строительных объектов с повышенным уровнем ответственности, при проектировании которых использованы не апробированные ранее в Российской Федерации конструктивные решения, необходимо было использовать данные экспериментальных исследований на моделях или натуральных конструкциях.

К сожалению, экспериментальные исследования на моделях или натуральных объектах во время возведения и после завершения строительства не были проведены. Поэтому идентифицировать расчетные модели с фактическими характеристиками конструкций 41-этажного здания невозможно осуществить.

«Грозный Сити 2». В СМИ появилась информация, что начались проектные работы по второй очереди «Грозный Сити 2». В составе комплекса предполагается возвести одно из сооружений — 65-этажную 360-метровую жилую башню. Рядом планируется возвести 54-этажную 189-метровую башню многофункционального центра «Шахматная Академия».

Принимая во внимание, перечисленные выше замечания, инвестору, заказчику и проектировщикам следует учесть при работе над новым проектом серьезные нарушения, которые были допущены при проектировании и строительстве уникального комплекса «Грозный Сити 1». В частности:

- обратиться к специалистам, занимающимся исследованиями и разработкой СТУ для проектирования в сейсмических районах, на стадии разработки архитектурной концепции объектов;

- предусмотреть устройство в зданиях специальной сейсмоизоляции и /или демпфирующих устройств, обеспечивающих сейсмостойкость и надежность при землетрясениях. За рубежом высотные здания не допускается возводить в сейсмических районах без применения специальных систем сейсмозащиты зданий;

- учесть требования Федерального закона [15] и включить в проектную документацию разработку проектов систем СМИК и СМИС и реализовать их в зданиях;

- учесть необходимость проведения поэтапных экспериментальных исследований на моделях или натуральных объектах во время возведения и после завершения строительства с целью идентификации фактических параметров конструкций с расчетными моделями зданий.

6. Выводы

Приведенный выше обзор и анализ, имеющейся информации о проектируемых, запроектированных, строящихся и построенных высотных и уникальных зданиях в сейсмических районах, приводит к следующим выводам.

6.1. При антисейсмическом проектировании высотных зданий и сооружений с большим скоплением людей главной целью является обеспечение безопасности людей и надежности объектов при воздействии землетрясения. Чтобы соответствовать предъявляемому к ним классу по степени ответственности, высотные, уникальные и особо сложные здания должны рассчитываться и конструироваться с большей степенью надежности, чем обычные здания.

Положительным аспектом является тот факт, что все чаще применяются эффективные методы сейсмической защиты зданий — сейсмоизолирующие и демпфирующие устройства. Устройство изоляции в подземной части здания обеспечивает снижение сейсмического воздействия в 2-4 раза при землетрясении и проявляет себя как эффективная и экономически конкурентоспособная система, по сравнению с традиционными способами обеспечения сейсмостойкости различных сооружений.

6.2. В последние годы проектирование и строительство высотных и уникальных зданий и сооружений очень бурно развивалось в г.Сочи — месте, где будут проводиться Зимние Олимпийские игры 2014 г. Проектирование и строительство в районе Большого Сочи достаточно сложное дело, потому что здесь, в дополнение к высокой плотности населения, добавились сложнейшие гидрогеологические и сейсмологические условия: высокая сейсмичность района, холмистая местность, оползневые явления, возможность образования селей и т.д.

Однако, фактически, все объекты запроектированы и построены с нарушением Федеральных законов и требований ГОСТ. Во-первых, для обеспечения безопасности на этапах возведения и эксплуатации сооружений и создания на объектах систем непрерывного (в режиме реального времени) мониторинга несущих конструкций и инженерного оборудования необходимо было запроектировать и установить СМИК и СМИС. Во-вторых, выполнить либо испытания на моделях, либо на натуральных зданиях. Инвесторы, Заказчики, как правило, желая сэкономить, игнорируют требования законов, а гостехнадзор закрывает на это глаза.

6.3. Сейсмические нормы России и нормы всех стран вводят ограничения на высоту зданий в зависимости от расчетной интенсивности землетрясения (в России не более 16 этажей для 9 балльных районов). Проектирование и строительство высотных и уникальных сооружений возможно на основе СТУ, разработанных специалистами и согласованных Минрегионом России в установленном порядке.

К сожалению, опять же, экономя средства, Заказчик поручает разработку СТУ проектировщикам этого же объекта. Не имея опыта разработки нормативного документа, а СТУ — это нормативный документ, проектировщики вместо требований по проектированию объекта вносят в СТУ описание объемно-планировочного и конструктивного решения здания.

Такая практика разработки СТУ может привести к весьма печальным последствиям.

6.4. В ГОСТ по надежности записано, что при проектировании объектов повышенной ответственности классов 1а и 1б, необходимо вести научно-техническое сопровождение. За редким исключением, генпроектировщик привлекает специалистов для ведения научно-технического сопровождения.

Приведенные примеры в первой части статьи последствий сильных землетрясений показывают: к каким трагическим последствиям могут привести несоблюдения Федеральных законов, ГОСТов и норм по проектированию в сейсмических районах.

Литература

1. Уломов В.И. Зав. лаб. Сильных землетрясений в ИФЗ им.О.Ю. Шмидта РАН. Сайт *seismos-u.ifz.ru*
2. Иващенко А.И., Гусяков В.К., Джумагалиев В.А., Йех Г., Жукова Л.Д., Золотухина Н.Д., Кайстренко В.М., Като Л.Н., Клочков А.А., Королев Ю.П., Кругляков А.А., Куликов Е.А., Куракин В.Н., Левин Б.В., Пелиновский Е.Н., Поплавский А.А., Титов В.В., Харламов А.А., Храмушин В.Н., Шельтинг Е.В. Шикотанское цунами 5 октября 1994 г. // Докл. АН. 1996. Т. 348. №4. С.532-538.
3. Кофф Г.Л., Булгаков Р.Ф., Иващенко А.И. и др. Предварительная оценка последствий Углегорского землетрясения 4 (5) августа 200 года на Сахалине. — М.-Южно-Сахалинск: 2000. 66 с.
4. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция. СНиП II-7-81. Издание официальное. — Москва: ОАО «ЦПП». 2011. 84 с.
5. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 года № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
7. Приказ Минрегиона России от 1 апреля 2008 года № 36 «О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства».
8. BS EN 1998-1:2004. English version. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance — Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization. This British Standard was published under the authority of the Standards Policy and Strategy Committee on 8 April 2005. 233 p.
9. International Building Code. IBC 2012. Standard published 05/01/2011 by International Code Council. p. 690.
10. Recommendations for the Seismic Design of High-rise Buildings. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. 2008. 24 p.
11. Айзенберг Я.М., Смирнов В.И. Разработка эффективных решений сейсмозащиты и сейсмоизоляции. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2000. №5. С.15-18.
12. Смирнов В.И. Сейсмоизоляция — инновационная технология защиты высотных зданий от землетрясений в России и за рубежом./Сб. 80 лет ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко. — М.: 2007. С.24-32.
13. Смирнов В.И. Современная защита от землетрясений. // Высотные здания. 2008. Вып.4. С.110-115.
14. Смирнов В.И. Диссипация энергии землетрясений. // Высотные здания. 2008. Вып.5. С.98-105.
15. Смирнов В.И., Бубис А.А., Семенов И.М., Сутырин Ю.А., Безделев В.В. Испытания системы сейсмозащиты в виде нижнего «гибкого» этажа многоэтажного жилого дома в г. Иркутске. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2009. №3. С.49-54.
16. Айзенберг Я.М., Смирнов В.И. Защита от экстремальных сейсмических воздействий. Инновационные системы. Архитектура и градостроительство в условиях экстремальных природных и техногенных воздействий./Сборник научных трудов. Составитель Есаулов Г.В. Москва — Пятигорск, 11 февраля 2011. — СПб.: Нестор-История. 2012. С.38-51.
17. Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2004 года № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации».
18. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. — М.: Госстрой России. ФГУП ЦПП. 2004. 44 с.
19. ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. — М.: Стандартинформ. 2011. 15 с.
20. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. — М.: Стандартинформ. 2005. 32 с.

Материалы хранятся в ЦИСС ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко по адресу: 109428, Москва, ул. 2-я Институтская, 6. Тел.: (499) 174-70-21. E-mail: smirnov@raee.su.