

2021
1137



Л.П. Бержинская

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Иркутск, 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ



**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ СО РАН

Л.П. Бержинская

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Учебное пособие



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета
2020**



УДК 711.1:699.841
ББК 38.79
Б48

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИРНТУ

Рецензенты:

канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории современной геодинамики ФГБУН «Институт земной коры СО РАН» **Я.Б. Радзиминович**;
ООО «Спецпроект» (и. о. директора – канд. геол.-мин. наук **А.П. Ордынская**)

Тематический редактор РИС

канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью ФГБОУ ВО «ИРНТУ» **Т.О. Шлепнёва**

Автор

канд. техн. наук, доцент кафедры архитектуры и градостроительства ФГБОУ ВО «ИРНТУ», ведущий инженер отдела сейсмостойкого строительства ФГБУН «Институт земной коры СО РАН» **Л.П. Бержинская**

Бержинская Л.П. Сейсмический риск урбанизированных территорий : учеб. пособие. – Иркутск : Изд-во ИРНТУ, 2020. – 132 с.

Соответствует требованиям ФГОС ВО по направлениям подготовки «Архитектура», «Градостроительство»

Рассмотрена методика комплексной оценки сейсмического риска и уязвимости объектов риска на урбанизированной территории. Приведен конкретный пример оценки уязвимости и сейсмического риска одного из центральных районов г. Иркутска, имеющего сложные инженерно-гидрогеологические условия и градостроительную ситуацию. Предложена концепция градостроительного преобразования территории и намечены пути дальнейшего ее развития.

Предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Архитектурные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений», в рамках подготовки архитекторов и градостроителей.

Редактор М.В. Зорина

Предпечатная подготовка А.Ч. Раднаева

Подписано в печать 05.11.2020. Формат 60 x 90 / 8.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 17,0.
Тираж 300 экз. Зак. 176. Поз. плана 45.

Отпечатано в типографии издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

ISBN 978-5-8038-1554-9

© Бержинская Л.П., 2020

© ФГБОУ ВО «ИРНТУ», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
ГЛАВА 1. СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК И УЯЗВИМОСТЬ ОБЪЕКТОВ РИСКА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	5
1.1. Понятие о риске и объектах риска. Показатели риска	5
1.1.1. Методы оценки рисков	6
1.2. Сейсмический риск. Основные параметры риска	8
1.2.1. Концепция методологии сейсмического риска «ALARP»	11
1.2.2. Сейсмический риск в США	13
1.2.3. Основные положения модели сейсмического риска Института геоэкологии РАН (ИГЭ РАН, г. Москва)	14
1.3. Потенциальные опасности территорий, обусловленные землетрясением	22
1.3.1. Оценка сейсмической опасности территории	22
1.3.2. Сейсмическое районирование территории и региона	26
1.3.3. Динамическая устойчивость геологической среды	29
1.3.4. Влияние природно-техногенных факторов на грунтовое основание и интенсивность сейсмических колебаний	30
1.4. Градостроительные критерии уязвимости объектов риска	39
1.4.1. Уязвимость населения	41
1.4.2. Конструктивная уязвимость зданий и сооружений. Параметры уязвимости	42
1.4.3. Планировочная уязвимость зданий и сооружений	67
ГЛАВА 2. ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ Г. ИРКУТСКА	76
2.1. Оценка сейсмической опасности территории г. Иркутска	76
2.2. Общий градостроительный анализ исследуемой территории с позиций сейсмического риска	79
2.3. Оценка уровня природной опасности на территории	86
2.4. Оценка конструктивной уязвимости существующей застройки	89
2.5. Влияние вторичных факторов от воздействия землетрясений на уязвимость объектов и территории в целом	98
2.6. Оценка сейсмического риска как средство	103
градостроительного развития урбанизированной территории	103
2.6.1. Критерии комплексной оценки сейсмической уязвимости территории	103
2.6.2. Результаты расчета сейсмического риска	104
2.6.3. Градостроительное управление сейсмическим риском	107
ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ	112
3.1. Методические указания по выполнению лабораторных работ	112
3.2. Задание к лабораторным работам (8-й семестр)	113
3.3. Задание к лабораторным работам (9-й семестр)	116
Вопросы для самопроверки и контроля	120
Заключение	123
Библиографический список	124
Приложение А. Термины и определения	129
Приложение Б	131

Введение

Предлагаемое учебное пособие составлено в рамках учебной программы дисциплины «Архитектурные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений».

Сильные и катастрофические землетрясения, происходящие вблизи крупных населенных пунктов, способны вызвать большие социальные последствия и нанести огромный материальный ущерб. Развитию событий по такому сценарию способствуют: недооценка сейсмической опасности территории, дефицит сейсмостойкости существующих зданий, а также непродуманная градостроительная политика. Не последнюю роль в обеспечении сейсмической надежности объектов на урбанизированной территории играет геологическое строение основания и производственно-хозяйственная деятельность населения. В силу этого, особую актуальность приобретает разработка концепции градостроительного подхода по развитию территории на основании комплексной оценки ее сейсмической опасности и уязвимости объектов, расположенных на ней, в контексте с учетом возможных вторичных последствий от землетрясения.

В учебном пособии рассмотрены теоретические основы понятий сейсмического риска и уязвимости объектов риска (территории, зданий и населения); особенности конструктивных схем наиболее распространенных типов зданий и определение класса их сейсмостойкости в соответствии с классификацией сейсмической шкалы; реакции зданий на сейсмические воздействия и повреждения зданий при реальных землетрясениях. В качестве примера приведены исследования одного из жилых районов г. Иркутска, позволившие на практике проанализировать сложившуюся ситуацию, разработать стратегию по дальнейшему развитию урбанизированной территории с учетом комплексной оценки уязвимости и сейсмического риска [5, 22, 36].

Особенностью учебного пособия является наличие предварительного этапа в подготовке освоения материала дисциплины в форме систематического выполнения лабораторных работ, базирующихся на изучении учебной, научно-технической и нормативной литературы. В пособии уделено внимание выбору конструктивной системы здания на основании приобретенных навыков по анализу работы систем в условиях высокой сейсмической опасности.

Методика оценки сейсмического риска урбанизированной территории, входит в раздел дисциплины курса и направлена на развитие профессиональных способностей студентов по оценке социально-значимых процессов и проблем урбанизированных территорий, выработку градостроительных подходов развития полноценной среды жизнедеятельности на застроенных территориях в условиях высокой сейсмической опасности и освоение дисциплины курса.

ГЛАВА 1. СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК И УЯЗВИМОСТЬ ОБЪЕКТОВ РИСКА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

1.1. Понятие о риске и объектах риска. Показатели риска

Россия является страной, которая подвержена различным видам стихийных бедствий с высокой вероятностью их проявления, негативные последствия которых создают препятствия для социально-экономического развития отдельных территорий и региона в целом. Проведение оценок риска и анализ вероятных последствий стихийного события является составной частью управления риском и имеет важное значение при планировании территорий и организации превентивных мероприятий по смягчению последствий чрезвычайных ситуаций.

Однозначной трактовки понятия «риск» не существует. Оно носит многоаспектный характер, но всегда связывает два вероятностных фактора – наступление самого события и результат его последствий. Отсюда, слова «риск» и «неопределенность» часто используют как синонимы и применяют, чтобы подчеркнуть отсутствие или недостаток определенности (ясности, уверенности) в результате или последствиях какого-либо процесса.

Риск – сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий.

Риск – ожидаемый социально-экономический ущерб от возможного проявления опасного природного процесса или явления.

Риск – это вероятность того, что результаты человеческой деятельности приведут к последствиям, которые будут носить положительный (отрицательный) характер.

Риск природный – вероятная мера соответствующей природной опасности, установленная для определенных объектов в виде возможных потерь за определенное время или потенциальная возможность такого протекания природных процессов или явлений.

Понятие о риске и значения оценок вероятности риска приведены в нескольких нормативных документах [54, 55].

В общем виде проявление опасных ситуаций можно представить в виде методической цепочки неопределенностей:

вероятность риска – оценка риска – последствия риска – управление риском

В соответствии с нормативной формулой современных стандартов [25, 26, 33, 34] определение «риска» можно записать следующим образом:

риск (risk) = вероятность (probability) × ущерб (damage).

Оценка риска – это сложный процесс, куда входят: идентификация самого риска, анализ тенденций развития существующей угрозы, анализ текущей уязвимости объектов риска в условиях негативного воздействия факторов риска и сравнительная оценка риска. Оценки риска используются для описания опасных событий, ранжирования и разработки действий, реализованных на стадии управления риском с учетом результатов сравнительной оценки риска.

Последствие риска (consequence) – результат воздействия опасного события на объект с одним или несколькими последствиями. Последствия могут

быть: определенными или неопределенными, находиться в интервале от позитивных до негативных, выражены качественно или количественно. Кроме того, первоначальные последствия могут послужить толчком для дальнейших последствий по принципу «домино» (вторичные последствия).

Управление риском базируется на нескольких составляющих: анализе и оценке риска, позволяющих определить уровень риска по силе, частоте проявления события и результатам последствий стихийного бедствия, а также по контролю риска, включающего определение основных согласованных действий для снижения или предотвращения риска, в том числе организацию и проведение мониторинга риска. Основными задачами управления риском, в случае превышения им приемлемого уровня, являются: установление мер, предотвращающих или заметно снижающих социальные и материальные потери риска и уменьшение вредных воздействий на окружающую среду.

Безусловно, одним из основных элементов в методической цепочке является оценка риска. Вероятность последствий опасных событий в процессе оценки риска определяется комплексно: с учетом вероятности возникновения события, его воздействия на элементы риска и проявления последствий этой опасности. Оценка риска позволяет не только исследовать потенциальные виды опасных событий, но и предопределяет превентивные мероприятия по управлению риском.

1.1.1. Методы оценки рисков

При оценке природных и техногенных рисков используется ряд методик, разработанных и утвержденных международными организациями в качестве основных в сфере снижения риска бедствий. Методы оценки риска чрезвычайных событий зависят от ряда факторов – уровня сложности, целей анализа, от наличия и объема имеющейся информации и т. п. Уровень сложности может варьироваться от простых оценок, в которых применяются качественные (описательные) методы, до количественно сложных моделей, содержащих пространственный анализ данных при развитии разных сценариев опасных событий. Часто более сложные методы являются дополнением к качественным методам. Ниже приведены некоторые методы качественных оценок, используемые при анализе риска. Результаты качественных оценок, чаще всего, оформляют в виде различных диаграмм, схем, таблиц или экспертных заключений в описательной и графической форме. Главная сложность получения достоверных оценок риска зависит от степени неопределенности исходных данных.

Методы «Check-List» («проверочный лист») и «What-if» («что будет, если...»). Суть методов – сопоставление природно-техногенных условий среды и эксплуатации объектов (или разработанного проекта) действующим требованиям безопасности [67]. Методы указывают об отклонениях от норм и служат основой для более подробных (в т. ч. численных) методов анализа. Тестирование (вопрос-ответ) производится с помощью «проверочного листа» или бланка опроса до тех пор, пока риск не будет признан безопасным. Оба метода представлены группой международных организаций в виде нормативного документа по оценке риска – **методологии MECO**.

Метод «Failure Mode, Effects and Critical Analysis – «FMECA» («количественный анализ вида, последствий и критичности отказа») используется

для ранжирования опасности и определения степени риска техногенного характера. Каждый вид отказа ранжируется по двум составляющим риска – частоте (вероятности) проявления опасного события и тяжести последствий (опасность/угроза отказа). Результаты оценок представляются в виде таблиц-матриц с перечнем объектов риска (территорий, населения, объектов) и видов опасности (частотой возникновения, тяжестью последствий, рекомендациями по снижению опасности). На базе метода «**FMECA**» [68] разработан нормативный документ по оценке риска – методология FOKUS (Fokus Humanitarian Assistance).

Метод «Hazard and operability studies – «HAZOP studies» («анализ опасности и работоспособности») применяется для идентификации опасностей и их ранжирования, при этом исследуют влияния отклонений параметров исследуемого объекта с позиций возникновения опасности [69]. Метод «**HAZOP studies**» целесообразно использовать при оценке риска на территориях и объектах с развернутой системой мониторинга природных опасностей, когда все пороговые критерии возможных опасностей выявлены.

Метод количественной оценки риска на основе анализа ущерба и потерь [70] основан на получении экономической оценки ущерба и риска социальных потерь вследствие возможного негативного природного воздействия (землетрясений, селей, оползней) на данной территории. Метод позволяет учитывать как условия потенциального развития опасных процессов, так и анализ уязвимости различных объектов риска.

Оценка риска по ГОСТ Р 51901.23-2012 [65] – это многосторонний процесс, в рамках которого вероятность последствий опасных событий оценивают с учетом вероятности возникновения самого события, его воздействия на элементы риска, а также уязвимости этих элементов по отношению к возникшей опасности. Понимание уровня риска, как следствия опасных событий, необходимо для принятия конкретных решений с целью минимизации их последствий. Согласно ГОСТ Р для анализа и оценки риска используется несколько критериев риска, ниже представлены некоторые из них:

- средства контроля и методы управления;
- уровень последствий на объекты воздействия;
- перечень объектов воздействия опасного события (табл. 1);
- оценка вероятности опасного события в течение года (табл. 2);
- матрица качественной оценки риска (табл. 3);
- матрицы оценки риска при различной неопределенности данных;
- метод, используемый для детального анализа опасностей.

Таблица 1

Объекты воздействия опасного события

Объекты риска	Вид воздействия
Люди	на здоровье и благосостояние людей
Природная среда	на экосистему, включая флору и фауну
Экономика	на экономическую деятельность
Инфраструктура	на здания, сооружения, инфраструктуру и обеспечение доступа к коммунальным услугам
Социальная среда	на социально-культурные объекты и эмоционально-психологическое состояние людей

Таблица 2

Оценка вероятности опасного события в течение года

Качественная оценка вероятности	Частота проявления события	Средний интервал между событиями	Вероятность проявления события в течение года
Почти наверняка	1 раз или несколько в год	< 3 года	> 0,3
Очень вероятно	1 раз в 10 лет	3–30 лет	0,031–0,3
Возможно	1 раз в 100 лет	31–300 лет	0,0031–0,03
Маловероятно	1 раз в 1000 лет	301–3000 лет	0,00031–0–003
Редко	1 раз в 10 000 лет	3001–30 000 лет	0,000031–0,0003
Очень редко	1 раз в 100 000 лет	30001–300 000 лет	0,0000031–0,00003
Почти невозможно	< 1 раз в 1×10^6 лет	> 300 000 лет	< 0,0000031

Таблица 3

Матрица качественной оценки риска

Качественная оценка вероятности	Последствия				
	незначительные	небольшие	умеренные	значительные	катастрофические
Почти наверняка	Риск средний	Риск средний	Риск высокий	Риск экстремально высокий	Риск экстремально высокий
Очень вероятно	Риск низкий	Риск средний	Риск высокий	Риск высокий	Риск экстремально высокий
Возможно	Риск низкий	Риск низкий	Риск средний	Риск высокий	Риск высокий
Маловероятно	Риск низкий	Риск низкий	Риск средний	Риск средний	Риск высокий
Редко	Риск низкий	Риск низкий	Риск низкий	Риск средний	Риск средний
Очень редко	Риск низкий	Риск низкий	Риск низкий	Риск низкий	Риск средний
Почти невозможно	Риск низкий	Риск низкий	Риск низкий	Риск низкий	Риск низкий

1.2. Сейсмический риск. Основные параметры риска

В России на сейсмически опасной территории (7–9 баллов) проживает более 20 млн человек, возведены крупные города и населенные пункты, построены и эксплуатируются различные объекты инфраструктуры, в том числе атомные, гидро- и тепловые электростанции. Следовательно, все сооружения и инфраструктура, да и сама территория, являются объектами риска и подвержены сейсмической угрозе.

Сейсмический риск – это вероятность социального и экономического ущерба от возможных землетрясений, на заданной территории в течение определенного интервала времени [25, 34]. Сейсмический риск, в соответствии с

расчетной сейсмической опасностью территории и уязвимостью инженерных и природных объектов, определяется как

$$R = H \times V,$$

где R – сейсмический риск (risk); H – сейсмическая опасность (hazard); V – уязвимость объектов (vulnerability).

Сейсмический риск, как было отмечено ранее, является результатом пересечения двух вероятностных факторов – сейсмической опасности и уязвимости объектов по отношению к этой опасности (зданий, людей и др. ценностей) на этой территории. Сейсмическую угрозу можно снизить, если, например, основные ответственные элементы инфраструктуры возводить за пределами зон с высокой сейсмичностью территорий, или можно понижать эту балльность локально, устраивая специальные конструктивные мероприятия при возведении ответственных объектов. В любом случае, для управления устойчивым развитием территорий необходима достоверная информация о фактическом уровне сейсмической угрозы и уязвимости объектов на ее территории.

Уровень приемлемого сейсмического риска. Для управления безопасностью должна быть выработана концепция и установлены уровни значений риска. Идеология концепции риска базируется на следующих принципах [41]:

- не существует абсолютной безопасности для жизни людей, различных объектов или процессов на территориях с высоким уровнем сейсмической опасности (отсутствие концепции нулевого риска). Полностью исключить вероятность возникновения какого-либо не прогнозируемого ЧП, способного привести к негативным последствиям, невозможно;

- существует нижняя и верхняя границы («порог чувствительности» и «зона насыщения») у объектов живой и неживой природы (живые организмы, природная среда) к различным видам воздействий, за которыми следует проведение мониторинга ситуации, либо предпринимаются защитные меры.

Данные принципы послужили основой для возникновения такого понятия, как «предельно допустимый уровень риска». Отсюда, значение риска выше этого уровня считается «недопустимым» («чрезмерным»), значение риска значительно ниже этого уровня считается «пренебрежимым» уровнем.

Предельно допустимый уровень риска или «приемлемый уровень риска» выбирается с учетом приоритета сохранения жизни и здоровья людей, а также с учетом притяжения такого риска обществом.

Обычно уровень приемлемого риска устанавливается по отношению к индивидуальному сейсмическому риску. Принятие конкретного численного значения уровня предельно допустимого индивидуального риска – это принципиальный и социально значимый вопрос для общества. Он связан с очень большими экономическими затратами на снижение риска, приводящими порой к нерентабельности хозяйственной деятельности целых отраслей. Приемлемый показатель риска зависит от достигнутого уровня экономического развития государства [26]. Более высокий уровень экономического и технологического развития в странах позволяет им устанавливать более низкие показатели величин риска. В странах с развитым уровнем сейсмостойкого строительства (США, Нидерланды, Новая Зеландия, Япония и др.) приемлемым уровнем индивидуального сейсмического риска законодательно считается величина 1×10^{-6} чел./чел. · год в

качестве «порога срабатывания» приемлемого риска. Это значит, что один человек из миллиона может погибнуть в течение года от действия любых техногенных или природных опасностей. В некоторых странах устанавливается два уровня риска – это 1×10^{-4} (верхний уровень – «насыщение» риска) и 1×10^{-8} (нижний уровень – «порог срабатывания» риска). Для развивающихся стран, куда относят и Россию, приемлемым уровнем считается 5×10^{-5} чел./чел. · год, т. е. гибель пяти человек в год на сто тысяч населения.

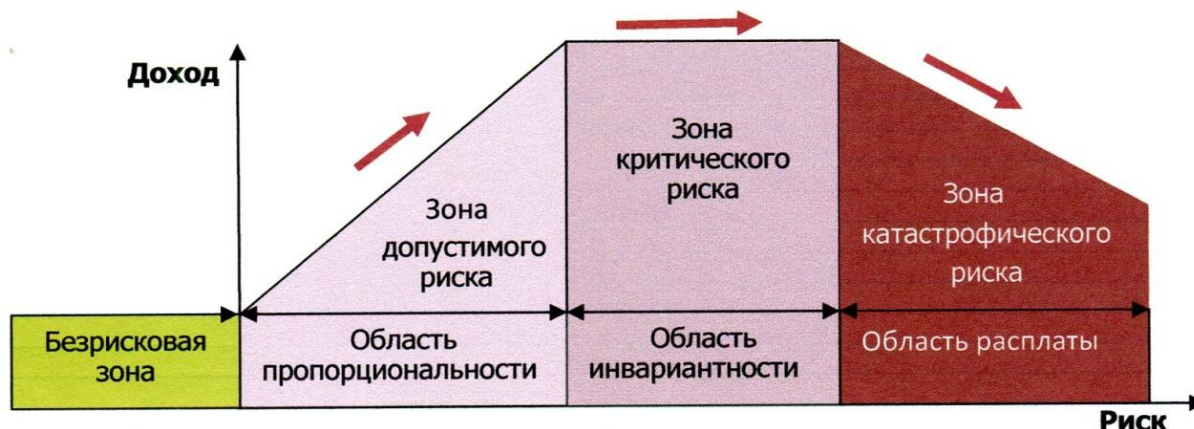


Рис. 1. Модель зонирования риска в концепции приемлемого риска

«Пороговым» значением индивидуального риска (рис. 1), при котором наступает принятие соответствующих управленческих решений или экономических механизмов воздействия на ситуацию считается, как правило, значение риска больше 1×10^{-3} чел./чел. · год.

В 2006 г. Российским научным обществом анализа риска принята Декларация об установлении предельно допустимого уровня индивидуального риска (гибель человека), а также уровня социального риска, носящие рекомендательный характер (рис. 2).

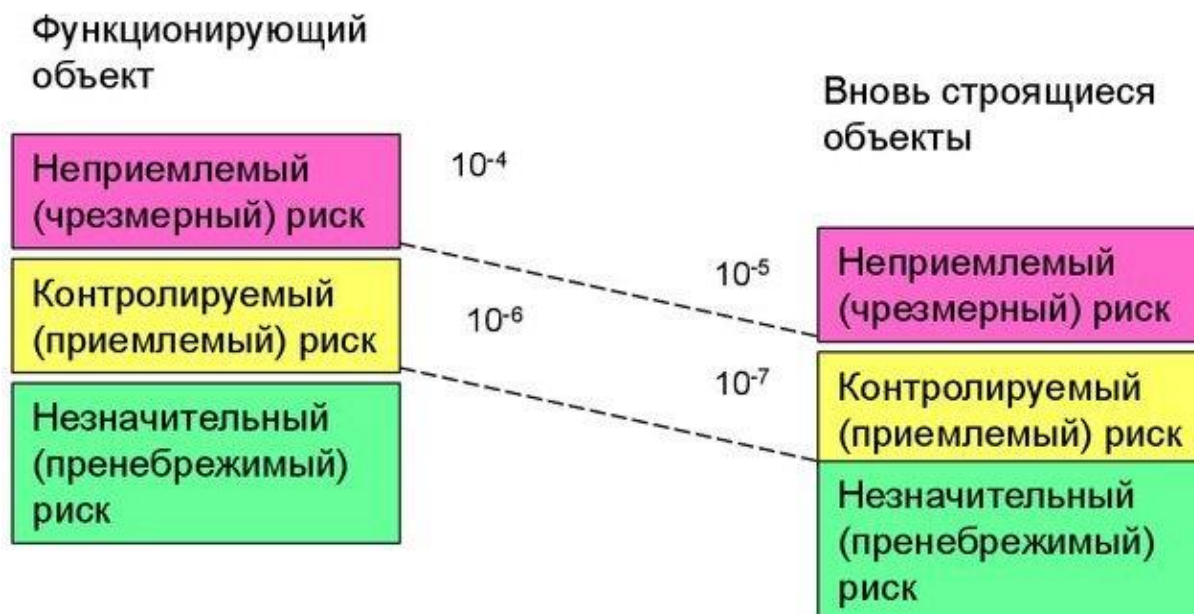


Рис. 2. Значения рекомендуемых нормативных значений уровня приемлемого риска

Существует также общепринятая качественная градация уровней сейсмического риска (табл. 4).

Таблица 4

Качественная градация уровней сейсмического риска

№ п/п	Качественная градация риска	Уровень риска, чел./чел. · год
1	малый уровень сейсмического риска	$< 0,5 \times 10^{-5}$
2	умеренный уровень сейсмического риска	$1 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$
3	средний уровень сейсмического риска	$5 \times 10^{-5} - 10 \times 10^{-5}$
4	высокий уровень сейсмического риска	$10 \times 10^{-5} - 20 \times 10^{-5}$
5	весьма высокий уровень сейсмического риска	$20 \times 10^{-5} - 50 \times 10^{-5}$
6	недопустимо высокий уровень риска	$> 50 \times 10^{-5}$

Процесс сопоставления оценки риска с критериями его приемлемости – это, по существу, сравнительная оценка риска, которая является основой для принятия решения о необходимости детального анализа риска и его ранжировании. При проведении сравнительной оценки риска учитывают результаты идентификации опасных событий и анализа последствий риска. Для определения границ между разными уровнями риска в международной практике в настоящее время применяют правило *ALARP* («*as low as reasonable applicable / practicable*» – «настолько низкий, насколько это оправдано / практически обосновано»). Концепция этого метода была позаимствована из нормативных документов Великобритании и основные ее положения вошли в нормы РФ [55].

1.2.1. Концепция методологии сейсмического риска «ALARP»

Применение *ALARP* может помочь ранжировать риски и выделить основные виды риска, требующие принятия (непринятия) решений [55]. Риск делят на три группы:

- «неприемлемый» риск, т. е. неоправданно повышенный риск;
- «*ALARP*-риск», т. е. область допустимого риска;
- «широко приемлемый риск».

Виды риска, относящиеся к группе «широко приемлемого риска», требуют минимального принятия мер или вообще не требуют принятия мер. От эксплуатирующих организаций органы надзора и регулирования не потребуют дополнительных мер по дальнейшему повышению безопасности.

Индивидуальный риск в этом случае считается «пренебрежимо малым», несущественным, с которым люди могут столкнуться очень редко в повседневной жизни. Предельная величина пренебрежимо малого риска также зависит от оценки стоимости человеческой жизни и устанавливается в пределах экономического развития страны.

В области «*ALARP*-риска» (допустимого риска) должны быть предусмотрены штатные меры контроля видов риска и обеспечение принципа *ALARP* в соответствии с соображениями практической целесообразности;

Виды риска из группы «неприемлемого риска» (за исключением чрезвычайных случаев) требуют принятия обязательных мер для перевода их в группу «*ALARP*-риска», где он будет приемлемым. В случае, если индивидуальные рис-

ки попадают в недопустимую область, должно осуществляться снижение риска до уровня допустимого риска, несмотря на стоимость защитных мероприятий.

Концепцию *ALARP* успешно применяют, когда риск известен и может быть управляем. Риск является минимальным, если он попадает в область «широко приемлемого риска» или в начало области «приемлемого *ALARP*-риска». Для отнесения риска к одному из трех видов используют два показателя: ранг риска и неопределенность данных. Взаимосвязь этих показателей приводится в матрицах оценки риска [55].

Под риском здесь подразумевается риск гибели индивидуума – внезапная или отложенная вследствие радиационного воздействия при аварии. Принцип *ALARP* означает, что эксплуатирующая организация должна предпринимать все практически реализуемые действия для снижения риска. Юридически это означает, что мероприятия по повышению безопасности должны осуществляться до тех пор, пока их стоимость значительно не превысит стоимость снижения риска.

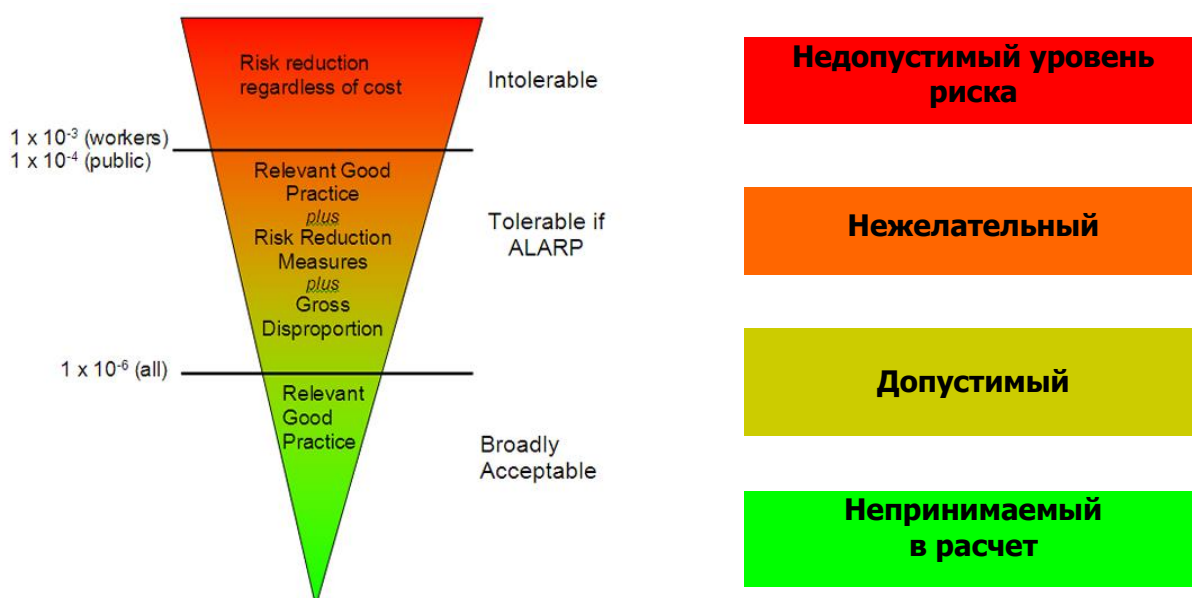


Рис. 3. Диаграмма *ALARP*

Следует отметить, что хотя формальные методы оценки «стоимость – выгода» должны применяться для поддержки принятия решений, в Великобритании такие методы еще не используются. Методическое Руководство по применению принципа *ALARP* содержит общую структуру контроля над рисками и представляет концепцию трех уровней риска (рис. 3).

Принципы оценки безопасности используют общую структуру и устанавливают базовые пределы и базовые цели безопасности в виде многочисленных мер риска. Базовый предел безопасности представляет предел допустимости, которому должен удовлетворять объект риска. По закону Великобритании недостаточно просто соответствовать численным критериям риска, так как должно быть показано, что риск снижен до практически достижимого уровня.

Для расчетов сейсмического риска используются различные модели риска, в зависимости от принятых исходных данных и показателей, необходимых для получения результатов на основе использования методов теории вероятности, статистического анализа и математического моделирования.

1.2.2. Сейсмический риск в США

По результатам оценок сейсмической опасности различных штатов в США [71] составлены карты сейсмического риска [46]. Карты доказали свою целесообразность в различных областях экономики и имели применение в строительстве при разработке и создании стандартов проектов. Карты использовались и как основание при страховании, связанном с районами высокой степени риска. В США такие карты составляются либо на основании зон относительного риска, либо на вероятности конкретных сейсмических событий в определенном месте.

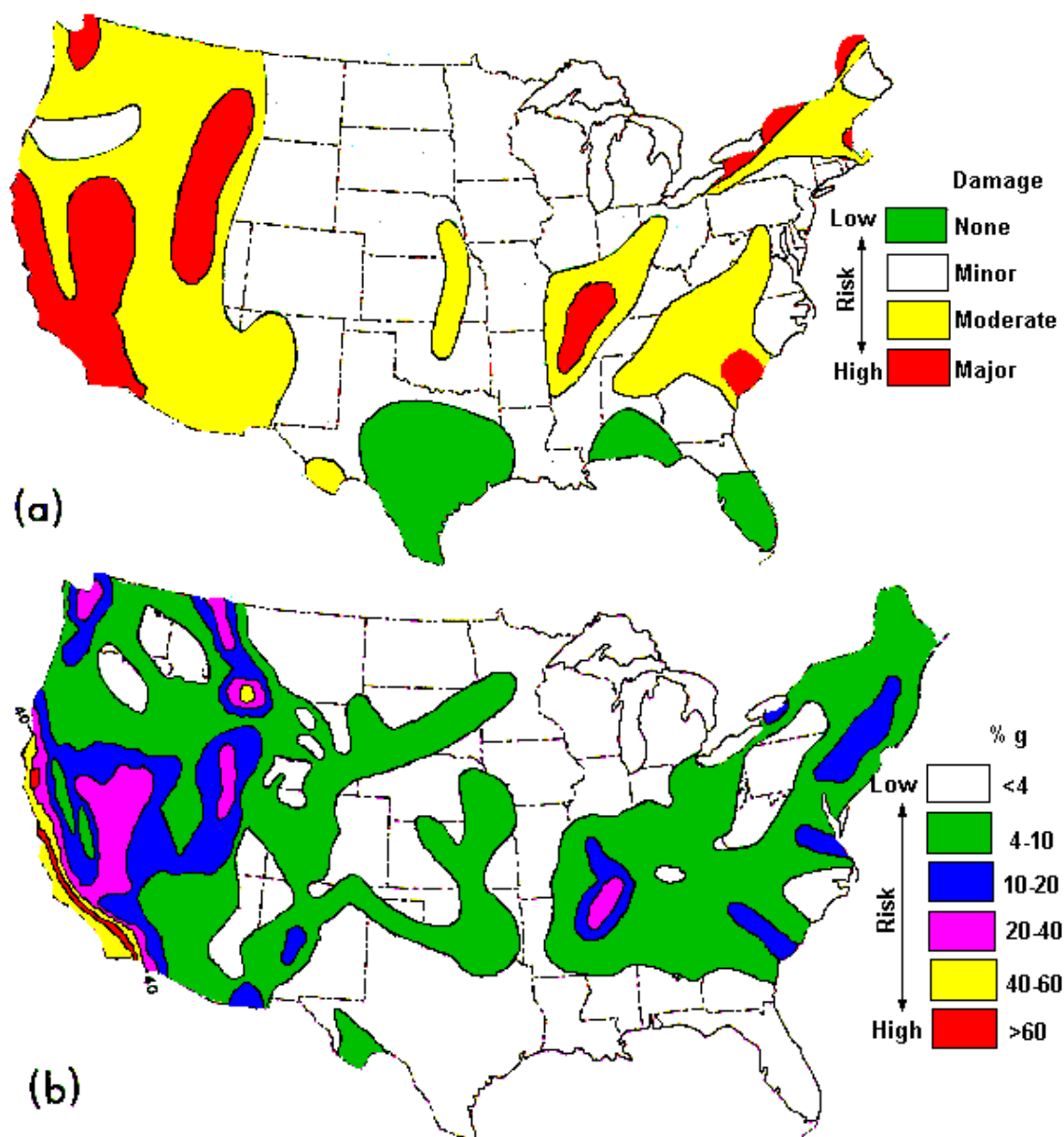


Рис. 4. Карты сейсмического риска территории США:

а – относительный риск повреждений, основанный на статистических данных последствий землетрясений; б – карта вероятного риска, где максимальные значения горизонтального ускорения грунта с 90 %-ной вероятностью «непревышения» в течение 50 лет

В качестве примера даны две карты риска США (рис. 4), на которых выделены четыре зоны риска, вычисленные по относительной шкале. Карты по-

строены на основании данных о последствиях известных разрушительных землетрясений в прошлом, свидетельствующих о сбросе напряжения горных пород и об анализе основных геологических структур, которые достоверно были идентифицированы с сейсмической активностью.

1.2.3. Основные положения модели сейсмического риска Института геоэкологии РАН (ИГЭ РАН, г. Москва)

В настоящее время в международной практике при оценке уязвимости и сейсмического риска территорий, зданий и населения широко используется модель сейсмического риска Сейсмологического центра Института геоэкологии РАН, описанная в трудах международных и европейских конференций по сейсмостойкому строительству и инженерной сейсмологии [1, 28, 30]. Согласно модели сейсмического риска прямой ущерб формируется из ряда составляющих экономических ущербов, а также экономического эквивалента социального ущерба, при этом его величина выражается в относительной форме. На основе матрицы вероятных повреждений построена таблица математических ожиданий степени повреждений зданий разных типов (классов) по уровню сейсмостойкости согласно классификации сейсмических шкал MMSK-86 и проекта ГОСТ Р.

При оценках сейсмического риска учитывается частота возникновения землетрясений и связанный с этим ущерб. Для зданий рассматривается экономический риск, при котором учитывается, что здания различных типов (классов) по сейсмостойкости получают разные степени повреждений.

Критериями оценок степени опасности для жизни людей (уязвимость населения) служат индивидуальный и коллективный риски. Вероятностный подход данных видов риска учитывает, что поражение людей в большей степени определяется интенсивностью землетрясения и физической уязвимостью (или сейсмостойкостью) зданий. Оба показателя используются в качестве критериев при обосновании мероприятий по снижению риска. Сопоставляя значения индивидуального риска с показателями приемлемого уровня риска можно судить о достаточности мероприятий по обеспечению безопасности населения, либо о необходимости сейсмоусиления зданий, имеющих дефицит сейсмостойкости, либо о сносе наиболее уязвимых строений. Суть методики приведена ниже.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА И УЯЗВИМОСТИ

Законы разрушения зданий

Под *законами разрушения зданий* понимают зависимость между интенсивностью возможного проявления землетрясения в баллах на данной местности и вероятностью повреждения зданий [28, 30].

При расчетах сейсмического риска и оценке уязвимости объектов необходимо пользоваться классификацией, приведенной в сейсмической шкале MMSK-86, где все строения подразделяются на две группы:

- здания и типовые сооружения без антисейсмических мероприятий;
- здания и типовые сооружения с антисейсмическими мероприятиями.

Классификация зданий по шкале сейсмической интенсивности MMSK-86

Здания и типовые сооружения без антисейсмических мероприятий:

Тип А1 – Местные здания. Здания со стенами из местных строительных материалов: глинобитные без каркаса; саманные или из сырцового кирпича без фундамента; здания, выполненные из окатанного или рваного камня на глиняном растворе и без регулярной (из кирпича или камня правильной формы) кладки в углах.

Тип А2 – Местные здания. Здания со стенами из самана или сырцового кирпича с каменными, кирпичными или бетонными фундаментами. Здания, выполненные:

- из рваного камня на известковом, цементном или сложном растворе с регулярной кладкой в углах;
- из пластового камня на известковом, цементном или сложном растворе;
- из кладки типа «мидис»;
- здания с деревянным каркасом и заполнением из самана или глины, с тяжелыми земляными или глиняными крышами;
- сплошные массивные ограды из самана или сырцового кирпича и т. п.

Тип Б – местные здания. Здания с деревянным каркасом с заполнителем из самана или глины и легкими перекрытиями.

Тип Б1 – местные здания. Здания из жженого кирпича, тесаного камня или бетонных блоков на известковом, цементном или сложном растворе, а также деревянные щитовые дома.

Тип Б2 – сооружения из жженого кирпича тесаного камня или бетонных блоков на известковом, цементном или сложном растворе; сплошные ограды и стенки, силосные и водонапорные башни.

Тип В – местные здания. Деревянные дома, рубленные в «лапу» или в «обло».

Тип В1 – типовые здания. Железобетонные, каркасные, крупнопанельные и армированные крупноблочные дома.

Тип В2 – железобетонные сооружения – силосные и водонапорные башни, маяки, подпорные стенки, бассейны и т. п.

Здания и типовые сооружения с антисейсмическими мероприятиями разделяются на типы:

Тип С7 – типовые здания и сооружения всех видов (кирпичные, блочные, панельные, бетонные, деревянные, щитовые и др.) с антисейсмическими мероприятиями для расчетной сейсмичности 7 баллов.

Тип С8 – типовые здания и сооружения всех видов с антисейсмическими мероприятиями для расчетной сейсмичности 8 баллов.

Тип С9 – типовые здания и сооружения всех видов с антисейсмическими мероприятиями для расчетной сейсмичности 9 баллов.

Характеристика повреждения зданий. В сейсмической шкале MMSK-86 приняты 5 степеней повреждения зданий:

d = 1 – легкие повреждения. Слабые повреждения материала и неконструктивных элементов здания: тонкие трещины в штукатурке; откалывание небольших кусков штукатурки; тонкие трещины в сопряжениях перекрытий со сте-

нами и стенового заполнения с элементами каркаса; в разделке печей и дверных коробок; тонкие трещины в перегородках, карнизах, фронтонах, трубах.

Видимые повреждения конструктивных элементов отсутствуют. Для ликвидации повреждений достаточен текущий ремонт здания.

$d = 2$ – умеренные повреждения. Значительные повреждения материала и неконструктивных элементов здания, падение пластов штукатурки, сквозные трещины в перегородках, глубокие трещины в карнизах и фронтонах, выпадение кирпичей из труб, падение отдельных черепиц. Слабые повреждения несущих конструкций: тонкие трещины в несущих стенах; незначительные деформации и небольшие отколы бетона или раствора в узлах каркаса и стыках панелей. Для ликвидации повреждения необходим капитальный ремонт здания.

$d = 3$ – тяжелые повреждения. Разрушения неконструктивных элементов здания: обвалы частей перегородок, карнизов, фронтонов, дымовых труб. Значительные повреждения несущих конструкций; сквозные трещины в несущих стенах, значительные деформации каркаса, выкрашивание бетона в узлах каркаса, сдвиги панелей. Возможен восстановительный ремонт здания.

$d = 4$ – частичные разрушения несущих конструкций: проломы и вывалы в несущих стенах; разрывы стыков и узлов каркаса; нарушение связей между частями здания; обрушение отдельных панелей перекрытия; обрушение крупных частей здания. Здание подлежит сносу.

$d = 5$ – обвалы: обрушение несущих стен и перекрытия; полное разрушение зданий.

По данным инженерного анализа последствий сильных землетрясений, характер повреждений в значительной степени зависит от конструктивных систем зданий.

В основу законов разрушения зданий положены два типа вероятностей:

- наступление не менее определенной степени повреждения зданий $P_{Ai}(I)$,
- наступление определенной степени повреждений зданий $P_{Bi}(I)$.

При определении вероятности наступления определенной степени повреждения сооружений учитывается теорема о полной группе событий

$$\sum_{i=0}^5 P_{Bi}(I) = 1 .$$

Таблица 5

Параметры законов разрушения M зданий при землетрясениях

Типы зданий по ММСК-86	Степени повреждения зданий				
	Легкая $d = 1$	Умеренная $d = 2$	Тяжелая $d = 3$	Частичное разрушение $d = 4$	Обвал $d = 5$
$A1, A2$	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
$B1, B2$	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
$B1, B2$	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
$C7$	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
$C8$	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
$C9$	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5

После воздействия расчетного землетрясения здание может быть в одном из шести состояний: оказаться неповрежденным (событие B_0), получить 1, 2, 3, 4 или 5-ю степень повреждения ($B_1, B_2, \dots, B_5$).

Вероятности наступления определенной степени повреждения зданий определяются с использованием зависимостей $P_{Bi}(I) = P_{Ai}(I) - P_{Ai+1}(I)$, где $P_{Ai}(I)$ – вероятности наступления не менее i -й степени повреждения зданий;
 P_{Ai+1} – вероятности наступления не менее $(i+1)$ степени повреждения зданий.

Законы поражения людей при повреждении зданий

Поражающими факторами при землетрясениях являются обломки зданий и сооружений. Для определения математического ожидания потерь населения города используется *закон поражения людей*, под которым понимается зависимость между вероятностью поражения людей и интенсивностью землетрясения. Законы поражения людей, размещенных в зданиях, учитывают, что событие C_j (общие, безвозвратные, санитарные потери) может произойти при получении зданием одной из степеней повреждения

$$P_{Cj}(I) = \sum_{i=1}^5 P_{Bi}(I) \cdot P(C_j | B_i),$$

где $P_{Cj}(I)$ – вероятность получения людьми k -той степени поражения при землетрясении интенсивностью I ;

$P_{Bi}(I)$ – вероятность наступления i -той степени повреждения здания при заданном значении интенсивности землетрясения;

$P(C_j | B_i)$ – вероятность получения людьми k -той степени поражения при условии, что наступила i -я степень повреждения здания. Значения $P(C_j | B_i)$ получены на основе обработки результатов последствий землетрясений.

Законы поражения населения приведены в табл. 6.

Таблица 6

Вероятность поражения людей при повреждении зданий

Структура потерь	Вероятность поражения людей при степени повреждения зданий				
	Повреждения				
	Легкие	Умеренные	Тяжелые	Разрушения	Обвалы
Общие	0	0,01	0,11	0,6	0,97
Безвозвратные	0	0	0,02	0,23	0,60
Санитарные	0	0,01	0,09	0,37	0,37

Вероятности поражения людей в зависимости от интенсивности землетрясения I , приведены в табл. 7.

Таблица 7

Вероятности $P_{ск}(I)$ общих и безвозвратных потерь людей в зданиях

Типы зданий по ММСК-86	Степень поражения людей	Интенсивность землетрясений в баллах						
		6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	Общие	0,004	0,14	0,70	0,96	0,97	0,97	0,97
	Безвозвратные	0	0,05	0,38	0,59	0,6	0,6	0,6
Б	Общие	0	0,03	0,39	0,90	0,97	0,97	0,97
	Безвозвратные	0	0,01	0,18	0,53	0,6	0,6	0,6
В	Общие	0	0	0,14	0,70	0,96	0,97	0,97
	Безвозвратные	0	0	0,05	0,38	0,59	0,6	0,6

Окончание табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
С7	Общие	0	0	0,03	0,39	0,90	0,97	0,97
	Безвозвратные	0	0	0,01	0,18	0,53	0,6	0,6
С8	Общие	0	0	0,004	0,14	0,70	0,96	0,97
	Безвозвратные	0	0	0	0,05	0,38	0,59	0,6
С9	Общие	0	0	0	0,03	0,39	0,90	0,97
	Безвозвратные	0	0	0	0,01	0,18	0,53	0,6

Оценка уязвимости зданий

Уязвимость зданий при сейсмических воздействиях оценивается в физическом и экономическом виде.

Физическая уязвимость застройки населенного пункта – это показатель утраты функциональных свойств зданиями разных типов при землетрясении; численно равен отношению жилой площади в зданиях, получивших повреждения к общей жилой площади всех зданий разных типов в населенном пункте.

Физическая уязвимость зданий j -го типа, получивших 3, 4 и 5-ю степени повреждения, определяется по формуле

$$V_{fj}(I) = \sum_{i=d}^n M(W_j) / W_j = P_{Ai}(I) = \sum_{i=d}^n P_{Bi}(I),$$

где $M(W_j)$ – математическое ожидание числа зданий, получивших не менее определенной степени повреждений или определенной степени повреждений i ;

W_j – число зданий j -го типа;

$M_{i=d}(W_j)$ – математическое ожидание числа зданий, получивших степень повреждения d ;

$P_{Ai}(I)$ – вероятность наступления не менее определенной степени повреждения;

$P_{Bi}(I)$ – вероятность наступления определенной степени повреждения;

n – число рассматриваемых степеней повреждения;

d – рассматриваемая степень повреждения.

Для зданий одного типа физическая уязвимость численно равна вероятности получения ими какой-либо степени повреждения (табл. 8).

Физическую уязвимость зданий можно также характеризовать средней ожидаемой степенью повреждения зданий $d_{cp}(I)$ при сейсмических воздействиях интенсивностью I (табл. 9).

Таблица 8

Зависимость вероятности $P_{Bi}(I)$ получения зданием определенной степени повреждения от интенсивности землетрясения I

Типы зданий по ММСК-86	Степень повреждения, d	Интенсивность землетрясений в баллах						
		6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	1	0,36	0,13	0	0	0	0	0
	2	0,12	0,37	0,02	0	0	0	0
	3	0,02	0,34	0,14	0	0	0	0
	4	0	0,13	0,34	0,02	0	0	0
	5	0	0,03	0,50	0,98	1	1	1

Окончание табл. 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Б	1	0,09	0,4	0,01	0	0	0	0
	2	0,01	0,34	0,15	0	0	0	0
	3	0	0,13	0,34	0,02	0	0	0
	4	0	0,02	0,34	0,14	0	0	0
	5	0	0	0,16	0,84	1	1	1
В	1	0,01	0,36	0,13	0	0	0	0
	2	0	0,11	0,37	0,02	0	0	0
	3	0	0,02	0,34	0,14	0	0	0
	4	0	0	0,13	0,34	0,03	0	0
	5	0	0	0,03	0,50	0,97	1	1
С7	1	0	0,09	0,4	0,01	0	0	0
	2	0	0,01	0,34	0,15	0	0	0
	3	0	0	0,13	0,34	0	0,02	0
	4	0	0	0,02	0,34	0,1	0,14	0
	5	0	0	0	0,16	0,9	0,84	1
С8	1	0	0,01	0,36	0,13	0	0	0
	2	0	0	0,1	0,37	0,02	0	0
	3	0	0	0,02	0,34	0,14	0	0
	4	0	0	0	0,13	0,34	0,02	0
	5	0	0	0	0,03	0,50	0,98	1
С9	1	0	0	0,09	0,4	0,01	0	0
	2	0	0	0,01	0,34	0,15	0	0
	3	0	0	0	0,13	0,34	0,02	0
	4	0	0	0	0,02	0,34	0,14	0
	5	0	0	0	0	0,16	0,84	1

Экономическая уязвимость застройки населенного пункта – показатель, отражающий ущерб застройки населенного пункта в стоимостном выражении, равный отношению стоимости восстановления застройки $D_{de}(I)$ после землетрясения интенсивностью I к стоимости застройки до поражения D_e .

Экономическая уязвимость зданий определяется по формуле

$$V_e(I) = D_{de}(I) / D_e = \left[\sum_{j=1}^m V_{ej}(I) \times S_j \right] / S,$$

где $V_{ej}(I)$ – экономическая уязвимость зданий j -го типа;

S – общая площадь зданий рассматриваемых типов;

m – число рассматриваемых типов зданий.

Таблица 9

**Средняя ожидаемая степень повреждения зданий $d_{cp}(I)$
при землетрясениях**

Типы зданий по ММСК-86	Интенсивность землетрясений в баллах						
	6	7	8	9	10	11	12
А	1,3	2,6	4,3	5,0	5,0	5,0	5,0
Б	1,1	1,8	3,5	4,8	5,0	5,0	5,0
В	1,0	1,2	2,6	4,3	5,0	5,0	5,0
С7	–	1,1	1,8	3,5	4,8	4,0	5,0
С8	–	1,0	1,3	2,6	4,3	5,0	5,0
С9	–	–	1,1	1,8	3,5	5,0	5,0

Уязвимость населения

Уязвимость населения при сейсмической опасности оценивают из предположения, что люди находятся в различных типах зданий населенного пункта. Уязвимость населения $V_{sj}(I)$ в зданиях j -го типа численно равна отношению ожидаемого числа пораженных с летальным исходом $M(N_j)$ в результате землетрясения интенсивностью I к общему числу людей N_j , находящихся в зданиях рассматриваемого типа.

Уязвимость населения города, проживающего в зданиях разного типа, численно равна отношению ожидаемого числа пораженных с летальным исходом $M(N_j)$ к общему числу людей $M(N_j)$, проживающих в городе:

$$V_s(I) = M(N)/N = \left[\sum_{j=1}^m V_{sj}(I) \times N_j \right] / N.$$

Общее число людей, пострадавших при землетрясении:

$$P_{Ck}(I) = \sum_{i=1}^5 P_{Di}(I) \times P(C_k | B_i),$$

где P_{Ck} – вероятность получения людьми k -той степени повреждения при землетрясении интенсивностью I ;

P_{Bi} – вероятность наступления i -той степени повреждения здания при заданном значении интенсивности землетрясения;

$P(C_k/B_i)$ – вероятность получения людьми k -той степени поражения при условии, что наступила i -я степень повреждения здания.

Вероятность гибели людей в зданиях в разное время суток различная. На основании статистических данных в качестве средних показателей принято:

с 23–7 часов	$P_t = 1,0$;
с 7–9 часов	$P_t = 0,6$;
с 9–18 часов	$P_t = 0,7$;
с 18–20 часов	$P_t = 0,65$;
с 20–23 часов	$P_t = 0,9$.

При оценке возможных последствий сценарийных землетрясений и риска принимают наихудший сценарий – ночное землетрясение с показателем $P_t = 1,0$.

Вероятность гибели людей в зданиях j -го типа определяют по табл. 10. При условии, что все люди находятся в зданиях ($P_t = 1,0$) уязвимость населения можно определить по табл. 11.

Таблица 10

Экономическая уязвимость зданий V_{ej} при землетрясениях

Типы зданий по ММСК-86	Интенсивность землетрясений в баллах						
	6	7	8	9	10	11	12
A	0,025	0,276	0,816	0,996	1,000	1,000	1,000
B	0,003	0,105	0,549	0,958	1,000	1,000	1,000
B	0,000	0,032	0,276	0,816	0,994	1,000	1,000
C7	0,000	0,003	0,105	0,539	0,958	0,980	1,000
C8	0,000	0,002	0,023	0,276	0,816	0,996	1,000
C9	0,000	0,000	0,003	0,105	0,549	0,998	1,000

Таблица 11

Уязвимость населения V_{sj} в зданиях при землетрясении

Типы зданий по ММСК-86	Интенсивность землетрясений в баллах						
	6	7	8	9	10	11	12
A	0	0,05	0,38	0,59	0,6	0,7	0,8
Б	0	0,01	0,18	0,53	0,6	0,7	0,8
В	0	0	0,05	0,38	0,59	0,7	0,8
С7	0	0	0,01	0,18	0,53	0,7	0,8
С8	0	0	0	0,05	0,38	0,6	0,8
С9	0	0	0	0,01	0,18	0,5	0,8

По табл. 7 можно определить также математическое ожидание общего числа пострадавших людей при землетрясении. Разность между числом пострадавших и погибших составит число людей, получивших ранения разной степени тяжести и нуждающихся в медицинской помощи – санитарные потери.

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

Сейсмический риск определяется как интегральный показатель, включающий частоту возникновения землетрясения за год и связанный с этим ущерб. Размер риска соотносят с характером ущерба и измеряют, как (*ущерб/год*) или как вероятность наступления неблагоприятного события – гибель людей за год – (*чел./чел. год*) или (*1/год*).

Сейсмический риск для зданий

Для зданий рассматривается экономический риск. Устойчивость зданий к сейсмическому воздействию оценивается функциями уязвимости. Учитывается, что даже при одинаковых сейсмических воздействиях существует некоторая вероятность получения ими разных степеней повреждения.

Экономический риск R_{ej} для зданий j -го типа определяется с учетом уязвимости зданий $V_{ej}(I)$ и частоты возникновения сейсмической опасности H

$$R_{ej} = H \times V_{ej}(I) \quad 1/\text{год}.$$

Экономический риск для зданий с частотой проявления землетрясений, например, 1 раз в 50 лет составит: $H = 1/50 \text{ лет} = 0,02 = 2 \times 10^{-2} \quad (1/\text{год})$.

Экономический риск R_e для жилой застройки определяется с учетом уязвимости всех зданий $V_e(I)$

$$R_e = H \times V_e(I) \quad 1/\text{год}.$$

Если показатель экономического риска необходимо получить в стоимостном отношении, то величину R_e умножают на стоимость всех зданий.

Сейсмический риск для населения

Наиболее приемлемыми критериями оценок степени опасности для жизни людей (уязвимости населения) служат *индивидуальный и коллективный риски*. Вероятностный подход учитывает, что поражение населения, в основном, опре-

деляется двумя факторами: интенсивностью землетрясения и физической уязвимостью зданий.

Индивидуальный сейсмический риск R_{sj} – вероятность смертельного исхода вследствие действия на человека опасных факторов землетрясения за год на рассматриваемой территории. Определяется с учетом пребывания людей в зданиях различного типа.

Индивидуальный сейсмический риск R_{sj} для людей в зданиях j -го типа – это произведение частоты возникновения за год на уязвимость населения в зданиях j -го типа $V_{sj}(I)$:

$$R_{sj} = H \times V_{sj}(I) \quad 1/\text{год}.$$

Коллективный сейсмический риск R_c – ожидаемое число погибших в результате сейсмического воздействия на число людей за год. Коллективный сейсмический риск R_{cj} для людей в зданиях j -го типа равен произведению индивидуального риска R_{sj} на численность людей N_j в зданиях j -го типа

$$R_{cj} = R_{sj} \times N_j \quad 1/\text{год}.$$

Индивидуальный риск R_s для населения с учетом размещения людей в зданиях различного типа:

$$R_s = H \times V_s(I) \quad 1/\text{год},$$

где $V_s(I)$ – уязвимость населения для населенного пункта в целом.

Коллективный риск R_c для населения определяется как:

$$R_c = R_s \times N \quad \text{чел./год},$$

где N – общее число жителей в населенном пункте.

На основании оценок сейсмической опасности и уязвимости строительных объектов населенных пунктов составляют карты сейсмического риска, согласно которым, зная стоимость строительных объектов, можно оценить ожидаемый ущерб в денежном выражении.

1.3. Потенциальные опасности территорий, обусловленные землетрясением

1.3.1. Оценка сейсмической опасности территории

Сейсмическая опасность – это первая компонента в оценке сейсмического риска и прогноза возможных последствий землетрясений на данной местности.

Под сейсмической опасностью понимают вероятность появления сейсмических воздействий определенной силы на заданной территории, превышение которых возможно с определенной вероятностью в течение заданного интервала времени [47, 48]. Сейсмические воздействия определяются:

- в пространстве (местоположение и площадь сейсмоопасной территории с заданной балльностью);
- во времени (частота или вероятность за определённый промежуток времени);

– по силе воздействия (в баллах сейсмической шкалы или в параметрах колебаний грунта – ускорениях, перемещениях, скорости). Следовательно, сейсмическую опасность можно оценить в виде распределения вероятности сейсмических воздействий по силе в пространстве и во времени. Для этого определяют [38]:

- места возможных очагов землетрясений (зоны ВОЗ);
- силу возможных землетрясений (интенсивность сотрясений);
- частоту повторения землетрясений на данной местности;
- ожидаемые параметры сейсмических воздействий (ускорения колебаний грунта, затухание колебаний и т. п.).

Частота повторения землетрясений определяется на основании:

- исторических сведений о прошлых землетрясениях;
- геологических и гидрологических исследований горных пород;
- результатов инструментальных измерений;

Сейсмическая опасность тесно связана с другой составляющей сейсмического риска – уязвимостью объектов, находящихся на опасной территории. Поэтому при проектировании новых зданий или при оценке сейсмостойкости существующей застройки возникает необходимость знания таких параметров, как: интенсивность проявления сотрясений на дневной поверхности, максимально возможные ускорения колебаний грунта, их спектральный состав, параметры затухания колебаний, площадь сейсмоопасной территории и т. д.

Зоны ВОЗ. Уровень сейсмической опасности территории в большей степени зависит от близости расположения активных разломов – зон возможных очагов землетрясения, в которых высока вероятность проявления сейсмической активности (магнитуда $M \geq 6$). Нельзя исключать также вероятность одновременного воздействия на территории населенного пункта двух или нескольких очагов землетрясений (зон ВОЗ), различных по повторяемости, но сопоставимых по интенсивности воздействия. Такую сейсмологическую информацию следует учитывать при расчетах сейсмического риска, т. к. материальный и социальный ущерб от такого воздействия будет существенно больше.

Основным угрожающим фактором для объектов риска на поверхности являются сейсмические волны, которые, распространяются во все стороны от очага землетрясения. Уровень поражающих факторов сейсмических волн зависит от их энергетических характеристик, глубины очага и кинематических (в т. ч. физико-механических) параметров грунтов (о видах и характере действия сейсмических волн см. ниже подраздел «Динамические воздействия на грунт»).

Сила землетрясений. Для оценки силы землетрясения используются три физические величины [25, 37]:

- магнитуда M ;
- энергетический класс землетрясений K ;
- интенсивность землетрясения I .

С сейсмологической точки зрения магнитуда M – это величина полной кинетической энергии, выделенная в очаге землетрясения в виде сейсмических волн. Сейсмические волны могут регистрироваться сейсмостанциями на большом удалении от эпицентра. Для оценки величины выделенной энергии произошедшего землетрясения используется шкала магнитуд Рихтера, имеющая логарифмический масштаб. По существу, магнитуду определяют по максималь-

ной амплитуде смещения почвы в микронах; чем сильнее размах волны, тем больше магнитуда землетрясения.

Магнитуда – десятичный логарифм максимальной амплитуды колебания поверхности грунта, зарегистрированного при прохождении сейсмической волны того или иного типа, записанной сейсмографом

$$M = \lg A - \lg A_0 = \lg \frac{A}{A_0},$$

где A_0 и A – максимальные амплитуды смещения в мкм (микрометрах – миллионная доля метра), измеренные на поверхности Земли по какой-либо сейсмической волне на некотором удалении от эпицентра землетрясения. Так как амплитуды сейсмических волн уменьшаются с расстоянием, Рихтер выбрал расстояние, равное 100 км от эпицентра.

Известное значение магнитуд M находится в диапазоне от 0 и приближается к 9,0. Согласно формуле, если магнитуды землетрясений отличаются на 1,0, значит, амплитуды колебаний отличаются в 10 раз.

Например, магнитуды сильнейшего землетрясения на Эквадоре (Колумбия, 1906 г.) и Японии (1933 г.) достигали 8,9; магнитуда Ашхабадского землетрясения (1948 г.) составляла 7,3; Газлинского (1984 г.) – М7,2; Спитакского (1986 г.) – М6,9; Ташкентского (1966 г.) – М5,1 и т. д.

Конечно, шкала магнитуд Рихтера – шкала эмпирическая и неточная. На практике магнитуды одного землетрясения, определенные разными сейсмостанциями, находящимися друг от друга на значительном расстоянии, будут отличаться на десятые доли единицы. Например, 5,3, 5,7, 5,5. Такой разброс возможен из-за того, что сейсмические волны от гипоцентра до каждой из сейсмостанций будут проходить через различные типы грунтовых толщ в земной коре.

Кроме магнитуды, отечественные сейсмологи с помощью специальной номограммы по сумме амплитуд P и S волн определяют энергетический класс K произошедшего землетрясения.

Энергетический класс K равен десятичному логарифму сейсмической энергии

$$K = \lg E,$$

где E – суммарная энергия волн, выделенная в очаге (в эргах).

Диапазон энергетических классов варьируется от 0 до 20. Например, $K = 15$ соответствует $E = 10^{15}$ Дж или 10^{22} эрг.

Существует эмпирическая линейная зависимость между магнитудой M и энергией в эргах, выделяемой в виде сейсмических волн

$$\lg E = aM + b,$$

где $a = 1,8$, $b = 11$ – для слабых землетрясений; $a = 1,5$, $b = 12$ – для сильных землетрясений.

Согласно зависимости, если M увеличивается на 1,0, то энергия E возрастает в 32 раза.

Магнитуда и класс землетрясения характеризуют относительную силу в очаге землетрясения, а разрушения на дневной поверхности определяются величиной *интенсивности I* , которая выражается в баллах сейсмической шкалы. С удалением от эпицентра землетрясения величина интенсивности уменьшается.

Если известны координаты гипоцентра землетрясения и определена магнитуда, то оценить интенсивность сейсмического воздействия можно через эмпирическую формулу, предложенную Н.В. Шебалиным [42], имеющую название *уравнение макросейсмического поля*. По существу, это зависимость между магнитудой M , интенсивностью I и глубиной очага H :

$$I = bM - v \lg \sqrt{H^2 + \Delta^2} + c,$$

где I – интенсивность на земной поверхности в баллах сейсмической шкалы;

H – глубина очага; Δ – расстояние от пункта наблюдения до эпицентра;

b , v , c – константы, значения которых различны для отдельных регионов.

В зависимости от глубины очага (гипоцентра) одному и тому же значению магнитуды может соответствовать различная интенсивность.

Формулу используют при прогнозировании последствий произошедших землетрясений или оценке последствий будущих возможных землетрясений в интересующей зоне. Кроме того, для прогнозирования последствий будущих землетрясений необходимо использовать карты:

- Общего сейсмического районирования (ОСР);
- детального сейсмического районирования (ДСР);
- сейсмического микрорайонирования (СМР);
- информацию о повторяемости сотрясений разной интенсивности и каталоги произошедших землетрясений [38, 39].

Сейсмическая активность территорий характеризуется количеством землетрясений, их частотой, повторяемостью сейсмических событий в интервале времени на заданной площади. Все это определяет «сейсмический режим» территорий, который связан с геологическими структурами сейсмоактивных регионов и особенностями энергетического развития глубинных сейсмогеодинамических процессов в их пределах. «Сейсмический режим» характеризуется периодами относительно кратковременных сейсмических затиший, сменяющихся проявлениями сейсмической активности разной силы. Эти характеристики определяются по данным многолетних наблюдений и используются при сейсмическом микрорайонировании.

Изосейсты землетрясений. При разграничении зон сейсмически опасной территории по балльности при конкретном землетрясении, величину сейсмического балла отображают на картах в виде изосейст. Линии изосейсты оконтуривают и разделяют зоны территориально, вместе с тем, разделяя по зонам балльности и населенные пункты, в которых здания получили одинаковую степень повреждения (рис. 5).

Численное значение балльности изосейсты снижается по мере удаления от эпицентра землетрясения. Чем плотнее изосейсты расположены друг к другу, тем быстрее снижается интенсивность и тем ближе очаг находился к поверхности Земли. Форма изосейст зависит от геологического строения конкретной территории, от формы и глубины очага, от механизма землетрясения. Тектонические разломы влияют на форму изосейст, округляя ее или вытягивая в виде эллипса, повторяя линию разрыва в земной коре [17, 40]. Различная плотность и разнообразие залегания пород, неравномерное поглощение различными породами энергии сейсмических волн, преломление и отражение волн при переходе их через разные породы – все это усложняет характер распространения сейсмических волн и формирует очертание изосейст.

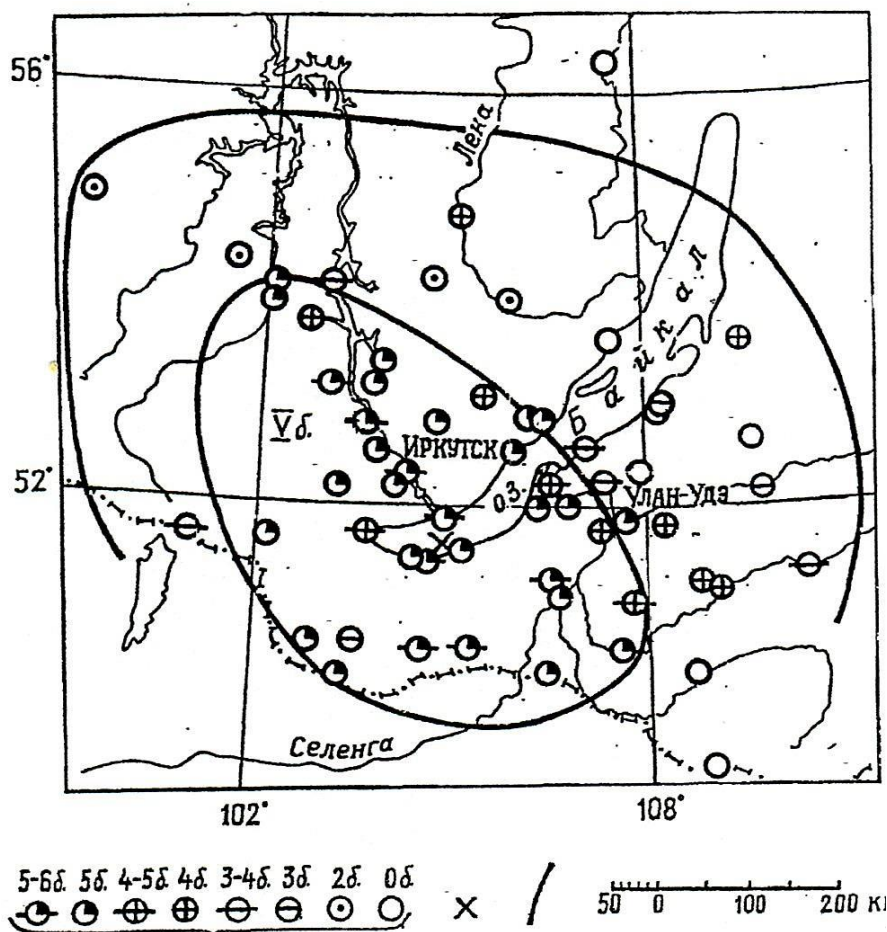


Рис. 5. Карта изосейст землетрясения ($K = 15$) на Южном Байкале 26.02.1999 г. по данным С.И. Голенецкого

Ожидаемые параметры сейсмических воздействий. Для оценки ожидаемых параметров сейсмических воздействий проводят работы по сейсмическому районированию территорий, от степени изученности и полноты данных которых, зависит достоверность результатов расчета сейсмического риска.

1.3.2. Сейсмическое районирование территории и региона

Смысл сейсмического районирования состоит в том, чтобы сейсмически активные территории разделить на районы с различной сейсмической опасностью, что, в свою очередь, позволит применять к проектируемым строительным объектам различные требования по антисейсмическому усилению [39].

В России работы по сейсмическому районированию территорий подразделяются на три вида в зависимости от задач исследований, детальности и масштаба исследований, методик их реализации. Сейсмическое районирование может быть:

- общим – ОСР (масштаб 1 : 5 000 000 – 1 : 2.5 000 000);
- детальным – ДСР (масштаб 1 : 500 000 – 1 : 100 000);
- микросейсмическим (сейсмическое микрорайонирование) – СМР (масштаб 1 : 50 000 и крупнее).

Карты ОСР. При сейсмическом районировании проводятся работы по оценке уровня опасности в масштабах всей страны. При этом используют дан-

ные геологических, сейсмологических, тектонических, геоморфологических исследований (происхождение, рельеф, экзо- и эндогенные процессы), анализируют инструментальные записи и макросейсмические проявления землетрясений разных лет. Особое внимание уделяют пространственному распределению очаговых зон (разломов), их протяженности, а также силе и повторяемости прошедших в них землетрясений. При сильных землетрясениях на поверхности Земли в зонах ВОЗ могут образоваться оползни, обвалы, тектонические разрывы, опускания или поднятия участков территории, которые отчетливо видны на современном рельефе. Сочетание макросейсмических и инструментальных данных формирует достоверные результаты исследований. Однако следует заметить, что в основу работ по сейсмическому районированию положено изучение лишь крупных сейсмогенерирующих структур (зон ВОЗ) с магнитудой не ниже 6,0, определяющих сейсмичность регионов или целых областей.

На основании исследований составляются карты Общего сейсмического районирования (ОСР) территорий (табл. 12) с указанием на них интенсивности возможных землетрясений в баллах сейсмической шкалы при средних грунтовых условиях по сейсмическим свойствам со средним периодом повторяемости землетрясений. Карты ОСР и список населенных пунктов с указанием балльности по всем картам приведены в Приложении к нормативному документу СП 14.13330.2018.

Согласно [58] нормативную интенсивность сейсмических воздействий в баллах (фоновую сейсмичность) для района строительства принимают на основе комплекта карт ОСР-2015 (А, В и С), которые отражают вероятность возможного превышения в течение 50 лет значений сейсмической интенсивности, указанной на картах: карта А – это 10%-ная вероятность; карта В – 5 %; карта С – 1%-ной вероятности возможного превышения. Карты ОСР позволяют оценивать наряду со степенью сейсмической опасности и уровень необходимых антисейсмических мероприятий в зависимости от ответственности сооружений. Решение о выборе карты для оценки сейсмичности района при проектировании конкретного объекта принимает заказчик по представлению генерального проектировщика.

Уточнение сейсмичности района строительства допускается по результатам Детального сейсмического районирования (ДСР).

Карты ДСР. Задача детального сейсмического районирования (ДСР) – оценка сейсмической опасности, представляющей угрозу для конкретного объекта. При исследовании учитывается опасность от всех землетрясений, даже с малыми магнитудами до 6,0, при этом оцениваются как параметры очагов, так и грунтовой среды. Цель ДСР – определение характеристик сейсмического движения грунта (скорость распространения сейсмических волн, пиковые ускорения, преобладающий период и продолжительность колебаний и т. д.). Кроме того, при ДСР изучается возможность активизации на данной местности опасных геологических процессов, например, оползней селей, обвалов и др.

Необходимость более детальных и точных исследований может быть связана с особым назначением объекта или с тем, что его повреждения представляет угрозу для жизни и здоровья людей и окружающей среды и могут нанести серьезный материальный ущерб. Под объектом ДСР понимается как отдельное здание, так и комплекс сооружений, населенный пункт или даже район освоения чего-либо.

Таблица 12

Карты Общего сейсмического районирования ОСР-2015 [58]

ОСР-2015 - А Интенсивность землетрясений в баллах 5 6 7 8 9 10 Вероятность превышения указанной интенсивности землетрясений в течение 50 лет - 10%	<i>Карта А – 10-процентная вероятность превышения указанных на карте значений сейсмической интенсивности для соответствующих территорий в течение 50 лет</i>	<i>Объекты нормального уровня ответственности – массовое строительство жилых, общественных и производственных зданий</i>
ОСР-2015 - В Интенсивность землетрясений в баллах 5 6 7 8 9 10 Вероятность превышения указанной интенсивности землетрясений в течение 50 лет - 5%	<i>Карта В – 5-процентная вероятность превышения указанных на карте значений сейсмической интенсивности для соответствующих территорий в течение 50 лет</i>	<i>Объекты повышенной ответственности – здания и сооружения, эксплуатация которых необходима при землетрясении или при ликвидации его последствий (аэропорты, вокзалы, хлебозаводы, системы электро- и водоснабжения, пожарные депо, сооружения связи, больницы, детские сады, школы и т. п.)</i>
ОСР-2015 - С Интенсивность землетрясений в баллах 5 6 7 8 9 10 Вероятность превышения указанной интенсивности землетрясений в течение 50 лет - 1%	<i>Карта С – 1-процентная вероятность превышения указанных на карте значений сейсмической интенсивности для соответствующих территорий в течение 50 лет</i>	<i>Особо ответственные объекты – АЭС, гидроэлектростанции, химические и взрывоопасные производства и т. п., а также из числа указанных в п. 2 по решению Заказчика или органов исполнительной власти</i>

Следует учитывать, что карты ОСР выполняются в мелком масштабе, на них зоны одинаковой сейсмичности очень велики по площади. И в пределах каждой из зон будут находиться участки, которые отличаются по геолого-гидрологическим условиям, влияющим на силу землетрясения, в большую или меньшую сторону. Эти участки не учитывались на мелкомасштабной карте ОСР. Отсюда появилась необходимость поправок к балльности для конкретных территорий. Уточнение балльности по фактическим грунтовым условиям в пределах какой-либо территории называется *сейсмическим микрорайонированием* и выполняется на основе карт ОСР или ДСР.

Карты СМР. Задача сейсмического микрорайонирования – оценка влияния местных грунтовых условий на величину сейсмической интенсивности. Местные условия – это особенности рельефа, состав и неоднородность горных пород, уровень залегания грунтовых вод и т. д. Сейсмическая жесткость – одна из главных характеристик грунтов. Она определяется, как произведение скорости распространения продольных сейсмических волн на плотность грунтов. Следовательно, приращение сейсмического эффекта напрямую зависит и от этой характеристики. Также следует учитывать частотный состав и угол подхода сейсмических волн.

Особое внимание при СМР уделяется вторичным геологическим опасностям, связанным с землетрясениями – деформациям, просадкам, разжижению грунта, оползням, обвалам и т. д. Корректировка балльности площадки в сторону ее увеличения на 1–3 балла возможна при строительстве на участках с сильно расчлененным рельефом, крутыми склонами, оврагами, на берегах водоемов, в местах возможных оползней, осыпей, на просадочных грунтах и т. д. Подобные участки оценивают как неблагоприятные для условий строительства.

1.3.3. Динамическая устойчивость геологической среды

Чтобы оценить устойчивость постоянно меняющейся под воздействием различных факторов геологической среды, необходимо знать природу происходящих явлений и учитывать возможность неблагоприятных последствий от их воздействия на геологическую среду. Подобная оценка среды должна быть комплексной, с учетом эндогенных (внутренних) и экзогенных (внешних) процессов, происходящих в приповерхностных слоях. Причем, нельзя исключать возможность одновременного воздействия сразу нескольких неблагоприятных факторов, резко ухудшающих устойчивость геологической среды и негативно воздействующих на уязвимость инженерных сооружений под землей и на ее поверхности. Со временем грунты естественного основания, под воздействием природно-техногенных факторов, могут менять свою структуру и некоторые физико-механические свойства, что, при крайне неблагоприятных условиях, способствует переходу их в неустойчивое состояние [21].

К основным природным факторам, затрудняющим освоение территорий и влияющим на деформации существующих сооружений, можно отнести: сейсмическую активность; оползневые процессы; паводки, морозное пучение грунтов; гидротермические изменения (резкие колебания температуры, влажности пород, уровня грунтовых вод) и т. д.

Основными техногенными факторами на урбанизированных территориях являются: быстрый рост городов с увеличением площади и нагрузки от зданий

и сооружений; возрастающие транспортные потоки; промышленная и хозяйственно-строительная деятельность; вырубка лесов и заболачивание территорий; создание искусственных водохранилищ и т. д.

Под динамическими свойствами грунтов понимают не только их физико-механические свойства, определяющие ответную реакцию грунтов на действие динамических нагрузок, но и одновременно среду распространения колебаний, обладающую затуханием и фильтрующими свойствами (отражением, рассеиванием, поглощением). Динамические свойства позволяют выявить динамическую неустойчивость грунтового основания (табл. 13), которая проявляется, по сравнению со статическими условиями, в снижении прочностных характеристик и увеличении деформирования грунтов (вплоть до потери структурной связности) при действии динамических нагрузок [15]. Конечно, любой грунт, в определенных условиях, может проявлять себя как потенциально динамически неустойчивый. Все зависит от соотношения критического для него уровня воздействия с реально действующими нагрузками [16].

Таблица 13

Виды динамической неустойчивости дисперсных грунтов [56]

Типы грунтов	Состав дисперсного грунта	Проявление динамической неустойчивости
Крупнообломочные	заполнителя < 30 %	склонные к динамическому уплотнению и разуплотнению
Песчаные	гравелистые и крупные	уплотняющиеся
	средней крупности	
	мелкие	с преобладанием уплотнения
	пылеватые	
Пылеватые	преобладают пылеватые, глинистых < 5 %	с преобладанием тиксотропных свойств (разжижения)
		частично восстанавливающиеся
Глинистые	глинистых > 5 %	упрочняющиеся

Необходимость в оценке динамических свойств грунтов возникает:

- при оценке сейсмических условий площадки строительства;
- при расчетах колебаний зданий в условиях динамического нагружения;
- при оценке уязвимости сооружений и территорий в результате последствий от воздействия сейсмических и динамических нагрузок.

1.3.4. Влияние природно-техногенных факторов на грунтовое основание и интенсивность сейсмических колебаний

Статические вертикальные нагрузки от веса построек. Сжатие грунтов – это, по существу, их способность под воздействием внешней нагрузки, не подвергаясь разрушению, уменьшаться в объеме (давать усадку) за счет уменьшения объема пор и увеличения плотности. Сжимаемость зависит от характера структурных связей и физического состояния грунтов, от минерального состава и степени дисперсности. Показателем сжимаемости служит модуль общей деформации E (МПа) – пропорциональность между приращениями давления на образец грунта и его деформацией. Степень сжатия грунтов показывает

способность основания к деформациям, что, в конечном итоге, приводит к осадке фундаментов [21].

Значительная по площади часть городских территорий отведена под застройку. Вес зданий оказывает уплотняющее воздействие на подстилающие грунты оснований и способствует увеличению их плотности и монолитности, сопротивляемости пород сжатию и сдвигу. Величина статического давления на грунты находится в пределах 0,1–0,5 МПа, а при застройке территории высотными зданиями давление повышается до значений 1,5–2,5 МПа [72].

Глубина сжимаемой грунтовой толщи зависит от веса зданий, размера и формы, от глубины заложения фундаментов и, конечно, от прочностных характеристик пород основания. В целом, толщина эквивалентного слоя зависит от бокового расширения грунта, которое будет больше у дисперсных грунтов со слабыми структурными связями, чем у несжимаемых грунтов с жесткими связями. Следовательно, глубина сжимаемой толщи у более слабых грунтов также окажется больше, чем у плотных. По разным данным мощность зоны сжатия может составлять от 3–40 м. Однако, размер зоны осадочной депрессии грунта от здания значительно превышает размеры самого фундамента и может распространяться на десятки метров за пределы периметра здания. В крупных городах и мегаполисах с их плотной застройкой зоны осадочной депрессии от каждого из зданий накладываются друг на друга, образуя единую «чашу» деформирования поверхностных слоев земли, с различной глубиной и с различным напряженно-деформированным состоянием на разных участках (рис. 6).



Рис. 6. Зона осадочной депрессии грунтового основания урбанизированной территории

По данным авторов [92] величина деформации от давления статических нагрузок на поверхность земли составляет от сантиметров до метра. Конечно, такую нагрузку нельзя назвать равномерной, ни по степени давления (промышленные и гражданские здания разной этажности), ни по площади распределения в пределах границ городской территории.

Динамические воздействия. В крупных городах грунтовые основания подвержены динамическому нагружению широкого спектра воздействия. Источниками нагружения являются: наземный и подземный транспорт, промышленные установки и оборудование, гидроэлектростанции, строительно-дорожные машины и механизмы, промышленные взрывы и т. п. Чем крупнее и масштабнее город – тем больше и разнообразнее динамическое воздействие на грунты. Ре-

акция грунтов на подобные воздействия различна и зависит от вида и состава грунтов, от мощности и обводненности различных слоев, от структуры и их физического состояния и, конечно, от уровня, спектрального состава и длительно-сти динамического воздействия [21].

В целом, под динамической понимают нагрузку, изменяющуюся во времени быстрее, чем рассеиваются в грунте вызванные ею напряжения. Практически все динамические нагрузки в грунте вызывают колебания, т. е. чередующиеся во времени возрастания и убывания напряжения различной величины. По виду воздействия такие нагрузки можно разделить на вибрационную и импульсную, а по характеру чередования воздействия на среду – на постоянную и переменную, которая в свою очередь может быть периодической (почти периодической) или непериодической (регулярной или нерегулярной). Например, к нерегулярной динамической нагрузке относятся все природные воздействия – сейсмические, волновые, ветровые и многие из техногенных, которые имеют незакономерный (случайный) характер изменения напряжений среды во времени.

Сейсмические волны. Энергия от любых воздействий динамического типа переносится от их источника волнами напряжений. Волны напряжений вне зависимости от их типа и происхождения, распространяющиеся в земной коре, носят название сейсмических. Они передают энергию волны на расстояния благодаря упругим свойствам среды, поэтому сами волны напряжений считаются упругими. Проходя сквозь различные грунтовые среды часть энергии теряется (поглощается, рассеивается, отражается), что снижает интенсивность динамического воздействия при удалении от источника. Это явление называется затуханием колебаний и связано, в основном, с неоднородностью грунтовой среды.

Как правило, сейсмическая волна – это ограниченный во времени импульс. В грунтовой среде возможны два типа сейсмических волн, имеющих различный характер и скорость распространения – это объемные волны, которые движутся в объеме Земли и поверхностные волны, образующиеся при достижении объемными волнами дневной поверхности [21]. В свою очередь объемные волны, подразделяются (рис. 7):

- на продольные сейсмические волны P (PRIMARY – первичные);
- на поперечные (волны сдвига) S (SECONDARY – вторичные).

P -волны способны распространяться в любой среде, они проходят через твердые породы и любые жидкости (вулканическая магма, вода океанов). Проходя через среду, P -волны смещают частицы этой среды вдоль своего движения, вызывая поочередно с ней сжатие и растяжение, т. е. меняют объем среды. При выходе на поверхность земли они передаются в атмосферу в виде звуковых волн, которые могут слышать и люди и животные. Скорость распространения продольных волн составляет 7–8 км/с [74].

Скорость распространения поперечных S -волн – 4–5 км/с. Они при своем движении меняют не объем, а форму среды: деформируют ее, сдвигая частицы грунта, через который проходят. Раскачивают все на своем пути вверх–вниз, смещают поверхность грунта и по вертикали, и по горизонтали. Благодаря S -волнам ощущается сотрясение в зданиях. Волны сдвига могут проходить только через твердые и упругие среды, жидкости и газы их не проводят. На этой основе считается, что вещество ядра Земли находится в расплавленном состоянии.

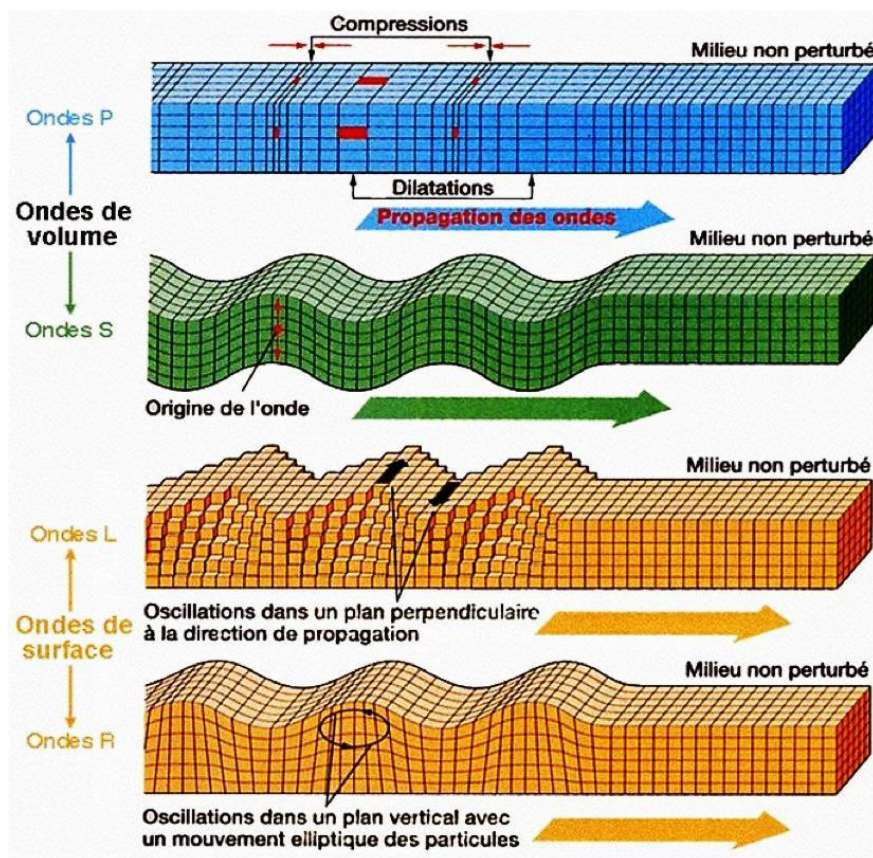


Рис. 7. Сейсмические волны (сверху вниз):
объемные – P - и S -волны; поверхностные – L - и R -волны.

Поверхностные волны, образующиеся при достижении продольными и поперечными волнами дневной поверхности, похожи на поперечные, но распространяются только на поверхности Земли. Поверхностные волны вызывают сильные колебания почвы и подразделяются на волны Лява и волны Рэлея.

Волны Лява (L -волны) – поперечные волны в горизонтальной плоскости; волны Рэлея (R -волны) – поперечные волны в вертикальной плоскости.

Волны Лява заставляют частицы грунта колебаться из стороны в сторону параллельно поверхности Земли. Эти горизонтальные колебания, действуя на основания зданий, могут вызвать разрушение построек.

Частицы грунтовой среды при прохождении волн Рэлея перемещаются как бы по эллипсу. Волны заставляют их двигаться одновременно и по вертикали и по горизонтали в вертикальной плоскости. R -волны вызывают сотрясения зданий и являются главной причиной их разрушения.

Скорость распространения поверхностных волн зависит от упругих свойств грунта и составляет: для скальных пород – 3,5–5,5 км/сек; для глинистых и песчаных грунтов – 0,7–1,6 км/сек; для насыпных – 0,2–0,5 км/сек.

При достижении объемными P - и S -волнами поверхности грунта, большая их часть преломляется и отражается обратно в земную кору, поэтому в приповерхностных слоях Земли одновременно действуют волны, движущиеся вверх и вниз. Такое скопление волн разного направления создает вблизи поверхности значительное усиление колебаний и увеличение амплитуд колебаний, которые способствуют повреждению и разрушению сооружений, однако с глубиной интенсивность колебаний снижается.

Колебания поверхностных слоев Земли регистрируются сейсмическими станциями, расположенными в разных частях земного шара. Приборы сейсмо-станций работают в автоматическом режиме, а записи имеют вид графиков:

- графики перемещений грунта называются *сейсмограммами*;
- записи скоростей – *велосигramмами*;
- записи ускорений грунта – *акселерограммами*.

Для строительных целей очень важны сейсмометрические данные, позволяющие узнать не только интенсивность землетрясения, но и характер силового воздействия колебаний грунтов на сооружения, периоды, а особенно ускорения грунтов, при которых в зданиях и сооружениях возникают повреждения и разрушения во время сильных землетрясений.

Транспортные нагрузки. Источниками данных техногенных динамических воздействий являются: подземный и наземный транспорт, промышленное оборудование и строительные машины и механизмы, взрывы [21].

Значительная роль в условиях крупных городов отводится динамической нагрузке от движущегося транспорта, особенно вблизи магистральных развязок, где высокая интенсивность транспортного потока не снижается в течение суток. Не менее значимое место принадлежит и рельсовому транспорту – железнодорожным составам, метрополитену, трамваям. Здесь передача динамического воздействия происходит в виде ударных импульсов при ударе колес об рельсы на стыках, причем на пониженный уровень затухания колебаний влияет вся цепочка жесткой системы «стальное колесо – стальной рельс – шпалы». Ниже, в табл. 14, приведены сравнительные характеристики динамических нагрузок от различных видов транспортных источников.

Таблица 14

**Характеристики динамических нагрузок от транспортных источников
(данные Е.А. Вознесенского [15])**

Источник динамического воздействия	Частота колебаний, Гц	Виброскорость частиц грунта		Виброускорение частиц грунта		Зона влияния, м
		$10^{-3} \cdot \text{м/с}$	дБ	м/с^2	дБ	
Железная дорога	10–70	16–50	110–120	1–22	70,97	150–300
Трамвайная линия	20–45	1,6–160	90–130	0,5–45,2	56,103	150–300
Метрополитен	30–60	0,3–300	75–135	10–1800	90,135	6–120
Автомостраль	10–20	0,005–0,07	40–65	0,0003–0,011	< 31	40–100

Конечно, размеры зоны влияния на грунты и сооружения от транспортных динамических нагрузок зависят от типа, интенсивности и скорости транспортного потока, а также от динамических свойств грунтов конкретной местности. Хотя в реальности динамические транспортные воздействия представляют собой

комплекс нагрузок от разных транспортных источников почти с непрерывным спектром колебаний. Распространяясь в приповерхностном слое, они переносятся волнами Релея, в том числе к основаниям зданий и инженерных коммуникаций. Давно замечено, что здания, расположенные вблизи крупных магистралей, получают большие деформации и осадки, чем те, что находятся на удалении от них.

Промышленное оборудование, строительно-дорожная техника. Динамические нагрузки от промышленного оборудования и механизмов (компрессоры, металлообрабатывающие станки и т. п.) имеют локальное распространение и влияют на грунты, в основном, в зоне действия самого источника колебаний. Еще меньшее воздействие происходит от различного рода вентиляционного и холодильного оборудования, которые на грунты действуют опосредованно через конструкции зданий. Среди строительной техники, являющейся довольно мощным источником импульсных динамических нагрузок, можно выделить сваебойные установки. При забивке свай в грунтах возникают горизонтальные и вертикальные колебания, причем с преобладанием вертикальных. Уровень виброскорости частиц грунта достигает 90 дБ, а зона влияния от 150 до 250 м [21].

Вибрационное поле городских территорий. По данным Гурвич [18], территория любого крупного города является, по существу, единой очаговой зоной распространения техногенных динамических нагрузок. Широкий спектр волн напряжений от всех источников накладывается друг на друга, создавая постоянно существующие вибрационные поля в грунтовой среде и в атмосфере, которые в зависимости от времени года и суток, и, конечно, удаленности территории от наиболее крупных динамических источников, будут меняться.

Взрывы. Динамическая нагрузка от взрыва в грунте – это мощный кратковременный импульс, с продолжительностью воздействия взрывной волны, измеряющейся в миллисекундах. При взрыве выделяется огромное количество энергии, которая распространяется в окружающую среду в виде сферической ударной волны. Однако, взрывная волна носит характер ударного воздействия с максимальными значениями напряжений только на близких расстояниях от места взрыва. В очаге взрыва остается зона разрушенного и растрескивавшегося грунта. За ней следует зона, которая тоже была подвержена необратимым деформациям – дроблению частей твердых пород и уплотнению грунта, вследствие высокого давления при детонации. Затем крутизна фронта волны сглаживается и переходит в непрерывную волну сжатия, а грунт подвергается деформациям обратимого характера. На размер такого безопасного расстояния от места взрыва влияет величина заряда взрывчатого вещества (ВВ) и физико-механические свойства грунтовой среды, в том числе водонасыщенность грунтов [21].

Взрыв в приповерхностном слое, на границе раздела двух различных сред (грунт-воздух или вода), вызывает в каждой из них свои волновые поля. Если взрыв произошел на поверхности земли, то на ее волновое поле накладывается возмущение от воздушной ударной волны, распространяющейся вдоль поверхности земли. При взрыве над поверхностью земли воздушная ударная волна начинает воздействовать на поверхностные слои грунта и возбуждать в них ответные волновые поля.

Наведенная (возбужденная) сейсмичность. Разные виды хозяйственной деятельности человека воздействуют на напряженно-деформированное состояние верхней части земной коры. Активизация сейсмических процессов под влиянием деятельности человека получила название «наведенной или возбужденной» сейсмичности. Этот вид проявления сейсмичности связывают с результатом масштабных внедрений человека в природные процессы:

- создание глубоких (до 200–300 м) водохранилищ с большими объемами воды (Нурекское, Саянское, Токтогульское и т. п.);
- извлечение больших запасов нефти, газов со снижением пластового давления;
- закачивание на большие глубины воды и промышленных стоков под высоким давлением при разработке нефтяных месторождений (Старогрозненское, месторождения в районе Денвера и Реджери (США));
- устройство подземных и наземных мощных взрывов для создания промышленных емкостей, камер, разработки карьеров, планировки территории.

Однако не всегда деятельность человека приводит к увеличению сейсмичности района. Например, предположения, что вес воды при заполнении искусственного водохранилища создает такие напряжения в земной коре, которые могут спровоцировать землетрясения, оказались ошибочными. Повторное нивелирование дна водохранилища Мид (США) показало, что прогиб ложа составил 10–15 см, что дало приращение напряжений в 0,2–0,3 МПа. Для срабатывания процесса наведенной сейсмичности необходимы дополнительные условия, способствующие образованию землетрясений – наличие активных разломов и тектонических процессов, создающих непрерывный рост напряженности в земной коре. При этом, техногенное воздействие будет само, в какой-то степени, вызывать разрядку общих напряжений. Оно станет активизировать мелкие землетрясения с различным режимом и количеством высвобождающейся энергии и таким образом снимать часть общих напряжений в земной коре, что позволит избежать, отодвинуть или ослабить проявление землетрясения большой силы.

Влияние гидрологических условий на интенсивность сейсмических колебаний. В естественных условиях режим подземных вод не нарушен и формируется под влиянием метеорологических, геологических и гидрологических факторов. Метеорологические особенности района являются основными в формировании подземных вод: осадки, испарение, атмосферное давление и температура воздуха. Колебания уровня грунтовых вод, их химический состав, температура воды и расход связаны, в основном, с сезонными и годовыми изменениями. Разница между максимальным уровнем (период весеннего снеготаяния и осенние дожди) и минимальным уровнем (конец лета и конец зимы) грунтовых вод называется максимальной амплитудой колебания уровня. Амплитуды сезонных колебаний, как правило, составляют 2–4 м, но иногда эта разница составляет до 10–15 м.

Техногенное воздействие на природу меняет естественный режим подземных вод – происходит повышение или понижение уровня, изменение химического состава, температуры. Повышение уровня подземных вод связано с устройством водохранилищ, орошением земель, длительной утечкой воды из подземных водонесущих коммуникаций. Влияние таких искусственных факторов способно поднять уровень грунтовых вод на 15 м. Например, после создания

Цимлянского водохранилища влияние подпора распространилось на 6 км, а уровни грунтовых вод вблизи него поднялись на 5–7 м.

К понижению уровня подземных вод приводят осушение заболоченных земель, устройства дренажей, длительная откачка воды и т. д. Техногенные воздействия могут существенно изменить и качество подземных вод – минерализацию, химический и бактериологический составы вод.

Гидрологический режим рек может оказать влияние на положение уровней подземных вод за пределами русла реки: в песчано-глинистых отложениях до 0,5 км, в водопроницаемых породах до 2–6 км. На уровень подземных вод, расположенных вблизи морских побережий, влияет режим и мощность приливов и отливов.

Любые геологические процессы также отражаются на уровне подземных вод – землетрясения, вулканическая деятельность, оползни, карсты, наводнения и т. д., при этом может изменяться их термический режим, химический и газовый состав.

Колебания коренных пород во время землетрясений приводят в движение верхние более слабые поверхностные слои земной коры, динамические характеристики которых зависят от их динамической жесткости. Значительное усиление амплитуды колебаний в поверхностных слоях возможно в случае неблагоприятного сочетания преобладающего периода собственных колебаний поверхностных слоев с аналогичными характеристиками подстилающих их коренных пород. Такое явление называется резонансом.

При одинаковой интенсивности землетрясения амплитуды колебаний скальных грунтов составляют 2–5 мм, глинистых – до 30 мм; илистых и насыпных грунтов – 100 мм и более. Максимальные ускорения грунта при 7–9 балльном землетрясении находятся в пределах $\ddot{y} = 0,05\text{--}0,4g$ (ускорений силы тяжести). Диапазон периодов колебаний грунтов при сейсмическом воздействии составляет 0,1–1,5 сек. В этих же пределах находится и период колебаний большинства зданий.

Но на интенсивность сейсмических колебаний поверхностного слоя (балльность) может оказать влияние степень обводненности грунтов и положение уровня подземных вод. Упругие свойства обводненных скальных и полускальных грунтов не меняются, следовательно, интенсивность их колебаний не изменится. Обводнение крупных, средних и мелкозернистых песков также значительно не скажется на их упругих свойствах. А вот у дисперсных связных грунтов обводненность снижает влияние связей, что скажется на их монолитности и несущей способности. По мнению авторов [10] водонасыщенные пылеватые и илистые пески имеют более низкие показатели упругих характеристик по сравнению с аналогичными необводненными или малообводненными грунтами, а значит, они более неустойчивы при сейсмических воздействиях. Такие водонасыщенные пески могут перейти в разжиженное состояние, что приведет к неравномерным осадкам, кренам фундаментов и деформациям зданий.

Кроме описанных выше, к числу инженерно-геологических и техногенных процессов и явлений, которые прямо или косвенно могут влиять на сейсмичность территории, относятся: гравитационные (оползни, обвалы), температурные воздействия (деградация вечной мерзлоты), гидрогеологические изменения (заболачивание, осушение территорий) и т. д. Эти факторы необходимо учитывать при проведении работ по оценке сейсмичности территорий (карты СМР).

Влияние оснований на повреждаемость строительных объектов и расчетную сейсмичность площадки. Инструментальные исследования свойств грунтов и результаты последствий землетрясений говорят о значительном влиянии грунтовых условий на уровень повреждаемости зданий во время землетрясения:

- при переходе от плотных скальных пород к песчано-глинистым или аллювиальным, интенсивность землетрясения может увеличиться на 2–3 балла;
- наличие у поверхностных слоев слабых рыхлых пород также способствует увеличению смещений, амплитуд и максимальных ускорений колебаний грунта и увеличивает продолжительность колебаний почвы. Величина смещения для рыхлых грунтов примерно в 15 раз больше, чем у скальных, при одинаковой интенсивности землетрясения.

Степень повреждения зданий зависит и от максимальных ускорений и от периодов колебаний грунта, причем большие периоды колебаний характерны для рыхлых несцементированных грунтов, а меньшие для более твердых грунтов. Диапазон периодов колебаний различных видов грунтов при сейсмическом воздействии составляет 0,1–1,5–2 сек, в этих же пределах находятся и периоды колебаний большинства зданий.

В работе О.Н. Елисеева и А.М. Уздина [7] названы четыре причины значительного влияния грунтового основания на повреждаемость зданий.

1. *Влияние типа грунтов на способность сооружений к затуханию колебаний.* Если на нижние глубинные коренные породы опирается большой слабый поверхностный слой, то колебания коренных пород станут раскачивать верхние, менее плотные, слои. Возникнет явление *резонанса*, которое только усилит колебания верхних слоев по сравнению с коренными, что приведет к приращению сейсмической балльности на поверхности Земли.

2. *Снижение прочности грунта под действием колебаний.* При прохождении сейсмических волн возможны повреждения и деформации самих грунтов, вследствие чего снизится несущая способность основания сооружений.

3. *Изменение структуры грунтов.* Слабые водонасыщенные грунты имеют, как правило, низкую прочность и подвержены разжижению при землетрясении, что не обеспечивает устойчивость фундаментов сооружений.

4. *Деформация грунтов.* Для сильно сжимаемых грунтов (лессовидных, пепловых) характерна неравномерная сейсмическая просадка поверхности, происходящая непосредственно во время землетрясения.

При выборе площадки строительства [58] «расчетную сейсмичность участка следует устанавливать по результатам сейсмического микрорайонирования СМР, выполняемого в составе инженерных изысканий, с учетом гидрогеологических условий». При отсутствии карты СМР «допускается для строительства объектов, использующих карту ОСР А, определять предварительную сейсмичность площадки строительства по табл. СП 14. При этом сейсмичность строительной площадки может совпадать или не совпадать с сейсмичностью района по карте ОСР. Если площадка сложена грунтами I-й категории по сейсмическим свойствам, то ее сейсмичность может быть понижена на 1 балл по сравнению с сейсмичностью района, если же грунты площадки относятся к III-й или IV-й категориям, то сейсмичность площадки увеличится на 1–2 балла (табл. 15) по сравнению с сейсмичностью района, отраженного на карте ОСР.

Таблица 15

**Приращение сейсмической балльности категорий грунтов
по отношению к гранитам**

Категории грунтов	Приращение сейсмической балльности
Граниты	0
Известняки и песчаники	0–1
Полускальные	1
Крупнообломочные	1–2
Песчаные	1–2
Глинистые	1–2
Насыпные рыхлые грунты	2–3

Выбирая строительную площадку в сейсмически опасном районе следует учитывать, что этот выбор предопределяет необходимую степень антисейсмического усиления здания, следовательно, дополнительные экономические затраты на строительство [6].

Особое место занимают случаи, когда площадка строительства имеет сейсмичность более 9 баллов. Нормы рекомендуют ограничивать строительство на таких площадках или вести строительство по специальным техническим условиям (СТУ).

1.4. Градостроительные критерии уязвимости объектов риска

Градостроительные особенности урбанизированных территорий, расположенных в сейсмоопасной зоне, должны учитываться, начиная от генерального плана застройки [75]. Еще на стадии разработки проектов планирования, до начала строительства промышленных площадок и жилых микрорайонов, выбирают территории с наиболее устойчивыми в сейсмическом отношении грунтами, исключая, по возможности, территории с повышенной сейсмичностью, сильно расчлененным рельефом, наличием обрывистых берегов, оврагов, обводненных грунтов и т. п., которые в сейсмическом отношении считаются неблагоприятными. На строительных площадках, сейсмичность которых превышает 9 баллов, возводить здания и сооружения не рекомендуется.

При разработке генеральных планов промышленных предприятий корпуса зданий с опасными производственными процессами, способные при сильном землетрясении вызвать угрозу не только для обслуживающего персонала, но и для населения прилегающего района, следует размещать удаленно от основной территорий города, на наиболее благоприятных в сейсмическом отношении участках. В районах сейсмичностью 9 баллов следует ограничивать строительство и расширение промышленных предприятий, не связанных с разработкой местных сырьевых ресурсов и непосредственным обслуживанием населения, а также строительство новых научно-исследовательских и проектных институтов, высших и средних специальных учебных заведений.

Градостроительные жилые образования в застройке городов, расположенные в районах с повышенной сейсмической опасностью (8–9 баллов), должны иметь определенный состав специализированных территорий, основные из которых устанавливаются нормативно-методическими документами. Так, в жи-

лых районах помимо собственно жилой застройки, занимающей около 60 % территории, должны быть зоны общественного центра, несколько зеленых зон общего пользования, зоны спортивных сооружений и коммунальные зоны.

Крупные жилые массивы (микрорайоны) расчленяют транспортными магистралями, каналами или полосами зеленых насаждений. Подобные мероприятия препятствуют распространению возможных пожаров (вторичные опасности) и обеспечивают возможность быстрой эвакуации населения во время землетрясений в «зоны безопасности». Дополнительно, «...в сейсмических районах необходимо предусматривать расчлененную планировочную структуру города и рассредоточенное размещение объектов с большой концентрацией населения». Кроме того, при создании генеральных планов городов, необходимо устройство дополнительных объездных путей внутри городской территории, которые в случае необходимости будут использоваться совместно с основными магистралями.

В пределах городских территорий для уменьшения степени риска и обеспечения устойчивого функционирования городской системы, в зонах с наибольшим риском следует предусматривать парки, открытые спортивные площадки, а также другие свободные от застройки участки, которые могут быть использованы, при необходимости, в качестве «зон безопасности». Аналогичные площади с безопасными открытыми участками для эвакуации населения должны быть обустроены на территориях жилых кварталов.

Высота застройки в районах сейсмичностью 7–9 баллов зависит от применяемых конструктивных систем, функционального назначения и ответственности жилых и общественных зданий и регламентирована требованиями норм по сейсмостойкому строительству [58]. Кроме того, согласно нормам возможно увеличение на 15–20 % ширины улиц и разрывов между зданиями.

Расчетную плотность населения также принимают в соответствии с региональными (территориальными) строительными нормами.

При строительстве на урбанизированных территориях крупных гидротехнических или большепролетных сооружений, больших мостов и других важных объектов следует устанавливать в их основании и на конструкциях сейсмометрическую аппаратуру для регистрации динамических характеристик землетрясений и самих сооружений. Подобный мониторинг позволит обнаружить повреждения в ответственных сооружениях на начальной стадии их образования.

Городская среда по функциональному назначению очень неоднородна. В центральной части городов, имеющих длительную историю, для сохранения архитектурного или градостроительного наследия, строго регулируется и само новое строительство, и его этажность. На основе изучения каждого конкретного случая устанавливаются индивидуальные ограничительные меры. Тем не менее, в центральной части городов при малой доле жилья возрастает концентрация общественных, деловых, культурных, образовательных и других центров. Это приводит к высокой плотности размещения объектов и почти полному отсутствию свободных территорий, а часто и зеленых зон. На периферии, в новых микрорайонах, за последние десятилетия очень востребованным стало возведение многофункциональных комплексов и жилых многоэтажных домов со встроенными помещениями в нижних этажах, в которых размещаются учреждения различного назначения и культурно-досуговые центры. Такие здания берут на себя функцию общественных центров и позволяют сохранить непрерывность и плотность размещения магазинов, предприятий обслуживания, питания и т. п.,

сохраняя при этом плотность жилого фонда и высокую интенсивность использования территорий.

К градостроительным критериям безопасности урбанизированных территорий в сейсмоопасных районах относятся не только требования по планировочной безопасности и перспективному территориальному планированию и развитию городских территорий, но и снижение уязвимости построенных на этой территории зданий и инженерных сооружений.

1.4.1. Уязвимость населения

Уязвимость населения напрямую зависит от масштаба и размера населенного пункта. Чем больше город и чем быстрее он развивается (растут жилые микрорайоны с многоэтажной плотной застройкой, осваивается пригородная коттеджная застройка, строятся промышленные предприятия, все более усложняется инфраструктура и транспортная система города), тем сложнее система управления и контроля за развитием и совершенствованием городской территории [30].

Уязвимость городского населения в случае сильного землетрясения в большой степени зависит от сейсмической надежности тех зданий, в которых находились люди во время землетрясения, а также от уязвимости городской инфраструктуры. По существу, ситуация, в которой могут находиться люди в момент землетрясения непрогнозируемая. Невозможно достоверно определить время (ночной или дневной сценарий сейсмического события), эпицентр землетрясения, интенсивность и, тем более, уровень сейсмического воздействия в районе расположения каждого конкретного здания на сейсмически опасной территории. Разные типы застройки характеризуются различной уязвимостью. И даже при нахождении людей в однотипных зданиях и при воздействии на эти здания сопоставимых сейсмических нагрузок, будет иметь место разная вероятность их разрушения, на степень и характер которых повлияет множество факторов: разброс прочностных свойств материалов, физический и сейсмический износ конструкций, качество строительства и т. п.

Считается, что объем разрушений зданий и сооружений, а также человеческие потери определяются, в основном, двумя факторами – интенсивностью землетрясения (моделью сейсмического воздействия) и сейсмостойкостью зданий, т. е. способностью сопротивляться этому воздействию (законами разрушений – для зданий и сооружений и законами поражения – для людей).

При расчетах сейсмического риска для определения числа погибших и раненых при землетрясении используется оценка уязвимости зданий разных классов (типов) по сейсмостойкости. Как правило, наиболее уязвимыми зданиями при землетрясении являются старые жилые дома, имеющие значительный физический износ и построенные по устаревшим строительным нормам, либо совсем без учета требований сейсмостойкого строительства; здания, построенные из местных строительных материалов без каких-либо антисейсмических мероприятий; здания, не подвергавшиеся длительное время капитальным и текущим ремонтам или попавшие в зону влияния нового высотного строительства при отсутствии за ними должного контроля.

Повреждение зданий или элементов городской инфраструктуры способно оказать на людей как непосредственное (прямой эффект), так и долгосрочное

воздействие (вторичные последствия). Прямой эффект – это получение людьми травм, ранений и даже гибели от обрушения или сильного повреждения здания или его элементов непосредственно в момент землетрясения. Долгосрочное воздействие на жителей – это потеря трудоспособности и болезни, связанные с травмами и ранениями, депрессия, гибель людей из отсутствия надлежащей медицинской помощи, недостатки временного жилья, чистой питьевой воды, нехватка продуктов питания, отсутствие минимально необходимых условий проживания (топлива, электричества) и т. д.

Кроме того, уязвимость населения, проживающего в крупных городах или в пригородной зоне, часто связана с трудностью обеспечения доступа к поисково-спасательным и восстановительным работам, к оказанию медицинской помощи в связи с завалами на дорогах или транспортными заторами.

1.4.2. Конструктивная уязвимость зданий и сооружений Параметры уязвимости

Уязвимость строительных сооружений – это свойство снижать или полностью терять свои качественные или количественные физические и/или эксплуатационные показатели (надежность и безопасность) при каком-либо воздействии на строительные объекты. Различают конструктивную уязвимость сооружений и планировочную уязвимость застройки, которые используются как способ воздействия при управлении сейсмическим риском территорий.

Конструктивная уязвимость зданий и сооружений характеризует, по существу, уровень безопасности строительных объектов.

Конструктивная уязвимость – это свойство сооружений реагировать на любое опасное воздействие и получать конструктивный ущерб или наносить вред жизни и здоровью людей, имуществу, находящихся внутри сооружения и в некоторой близости от него. Последствиями таких воздействий в сооружениях станут повреждения в конструктивных элементах. Отличительная черта конструктивной уязвимости – ее управляемость, т. е. возможность регулировать степень повреждения конструкций за счет применения антисейсмических мероприятий, следовательно, контролировать риск социальных потерь и материального ущерба от землетрясений и вторичных опасных воздействий на сооружение (конструктивную систему). Конструктивная уязвимость зависит:

- от конструктивной системы зданий и сооружений;
- от уровня сейсмостойкости строительных сооружений;
- от качества строительства и долговечности материала несущих конструкций;
- от величины физического износа основных несущих конструкций;
- от сейсмического износа зданий.

Конструктивные системы зданий и сооружений. Конструктивные решения зданий определяются на первом этапе проектирования, когда выбирают конструктивную систему каждого здания. Выбор конструктивной системы влияет на объемно-планировочное решение, архитектурную композицию и экономическую обоснованность проекта в целом. В то же время, на выбор конструктивной системы оказывают значительное влияние типологические условия проектируемого здания, этажность, сейсмологические и инженерно-геологические условия строительства.

Конструктивная система – совокупность взаимосвязанных вертикальных и горизонтальных несущих конструкций здания, обеспечивающих его прочность, жесткость и устойчивость. Конструктивные системы подразделяются на: основную (однородную) и комбинированную.

Основные конструктивные системы зданий. В зависимости от вертикальных несущих конструкций различают следующие конструктивные системы (рис. 8):

Каркасная – вертикальными несущими конструкциями являются колонны каркаса. В каркасной конструктивной системе вертикальные и горизонтальные нагрузки воспринимает пространственный каркас совместно с перекрытиями. В зависимости от сейсмической активности района (7–9 баллов) каркасная система применяется при строительстве зданий от 3-х до 16-и этажей.

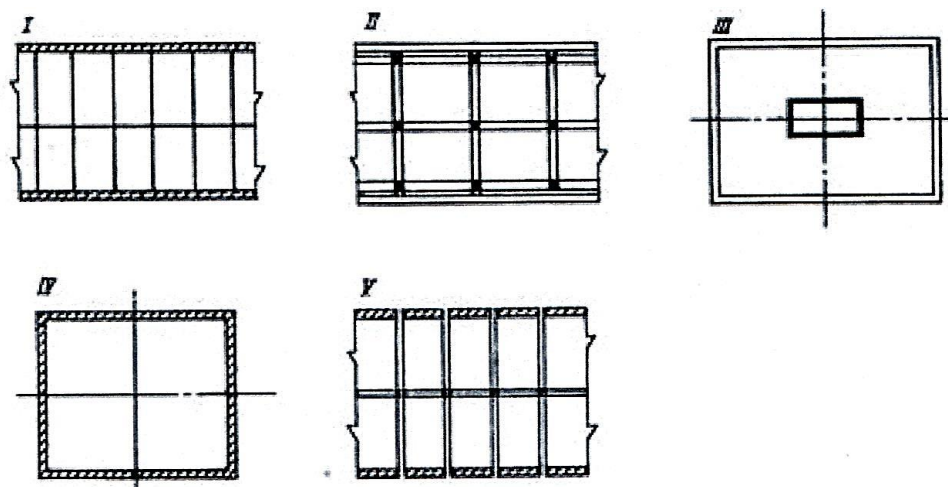


Рис. 8. Основные конструктивные системы гражданских зданий [76]:

I – стеновая; II – каркасная; III – ствольная; IV – оболочковая; V – объемно-блочная

Стеновая (бескаркасная) – вертикальными несущими конструкциями являются стены (диафрагмы жесткости – ДЖ). В стеновой системе пространственная работа обеспечивается совместной работой несущих стен и горизонтальных дисков перекрытий, воспринимающих совокупность вертикальных и горизонтальных нагрузок. Это самая распространенная система в жилищном строительстве. Имеет различные планировочные решения в зданиях высотой:

- при монолитных стенах до 24-х этажей (7 баллов); 20 этажей (8 баллов); 16 этажей (9 баллов);
- при крупнопанельных стенах до 18-и этажей (7 баллов); 16-и этажей (8 баллов); 12-и этажей (9 баллов).

Объемно-блочная, где несущими конструкциями являются объемные блоки. Применяют для зданий, как в обычных, так и в сейсмических условиях (16 этажей при 7 баллах; 14 этажей – 8 баллов; 12 этажей – 9 баллов), а также в районах со сложными грунтовыми условиями.

Оболочковая система с объемно-пространственными внешними несущими конструкциями на высоту здания в виде тонкостенной оболочки замкнутого профиля. Система подходит для уникальных высотных зданий жилого, административного или многофункционального назначения.

Комбинированные конструктивные системы. Различают 13 комбинированных конструктивных систем, состоящих из сочетания 2-х или 3-х основных конструктивных систем (рис. 9).

Комбинированными называют такие конструктивные системы, в которых вертикальные несущие конструкции komponуют из различных элементов (рис. 10), (например, «стержневые + стеновые»; «стержневые + ствольные»).

Каркасно-стеновая КС (система с неполным каркасом) – сочетание несущих стен и каркаса, воспринимает все вертикальные и горизонтальные нагрузки. Здания проектируют на основе ригельного каркаса, имеющего нежесткие узлы соединения ригелей с колоннами, или безригельного каркаса.

Система применяется в 2-х вариантах:

– несущие наружные стены (НС) и внутренний каркас – свобода планировочных решений;

– наружный каркас и внутренние стены – здания средней и повышенной этажности с легкими НС.

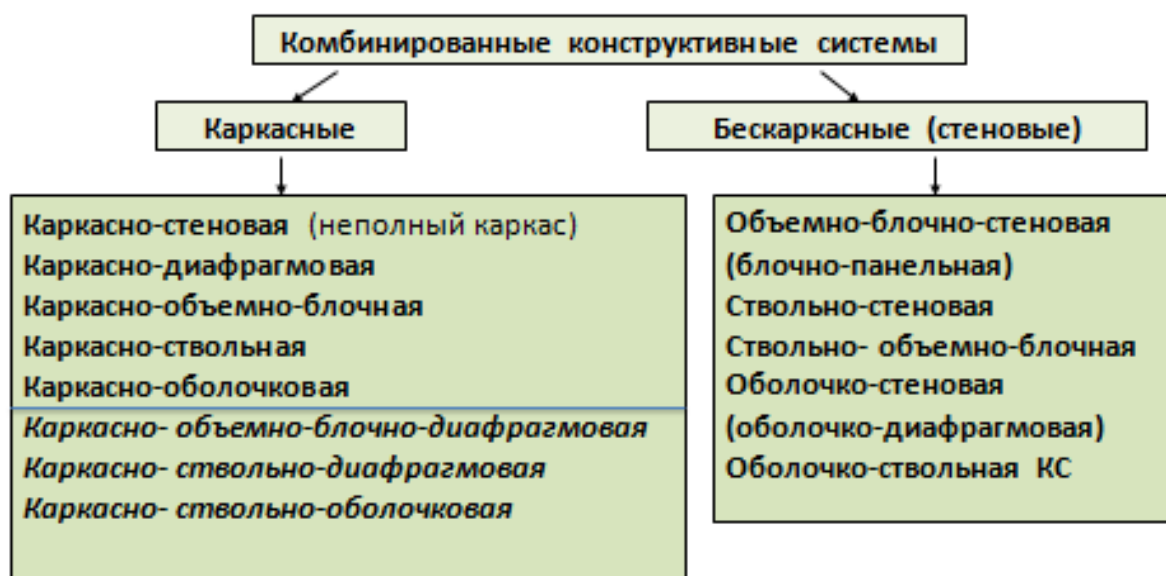


Рис. 9. Комбинированные конструктивные системы гражданских зданий

Каркасно-диафрагмовая КС основана на разделении функций между стеновыми (связевыми) и стержневыми (каркасом) элементами несущих конструкций. На стены или ДЖ передается горизонтальная нагрузка, на каркас – вертикальная. Система применяется для строительства многоэтажных каркасно-панельных жилых домов в обычных и сейсмических условиях.

Каркасно-объемно-блочная КС – сочетание каркаса и объемных блоков. Блоки могут быть ненесущими или несущими. Ненесущими блоками поэтажно заполняют ячейки каркаса. Несущие блоки устанавливают друг на друга в 3–5 ярусов на горизонтальные несущие платформы-перекрытия. Применяется в зданиях выше 12-и этажей.

Каркасно-ствольная КС – вместо диафрагм жесткости применяются пространственные элементы замкнутой формы в плане – стволы жесткости. Каркас воспринимает вертикальные нагрузки, ствол жесткости – горизонтальные. Используется только в каркасных зданиях связевой и рамно-связевой конструктивных схем. Применяется в высотных зданиях до 60-и этажей.

Каркасно-оболочковая КС – это сочетание наружной несущей оболочки здания с внутренним каркасом. Каркас воспринимает только вертикальные нагрузки, наружную оболочку и вертикальные и горизонтальные нагрузки. Применяется при проектировании зданий свыше 200 м.

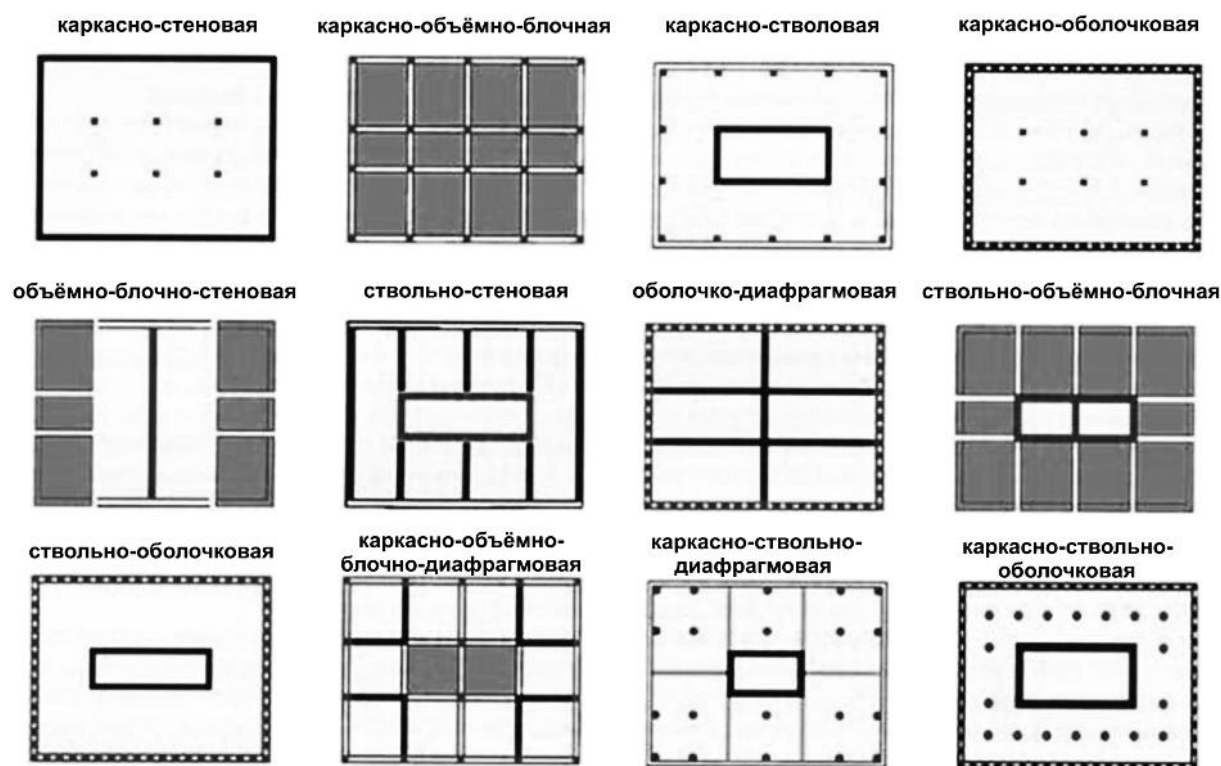


Рис. 10. Схемы комбинированных конструктивных систем зданий [76]

Объемно-блочная-стенная (блочно-панельная) КС – сочетание несущих объемных блоков и несущих стен, поэтажно связанных между собой дисками перекрытий. Вертикальные и горизонтальные нагрузки воспринимают все конструкции.

Ствольно-стенная КС – сочетание несущих стен и ствола. Вертикальные и горизонтальные нагрузки распределяются между стенами и стволом пропорционально их жесткости. Применяется в зданиях выше 16 этажей.

Ствольно-объемно-блочная – сочетание несущего ствола и несущих объемных блоков. Применяется в зданиях выше 16-и этажей.

Оболочко-стенная КС – сочетание внешней решетчатой оболочки и внутренних несущих стен. Внутреннее пространство здания перекрывает пространственная тонкостенная оболочка, передающая нагрузки на наружные конструкции здания.

Оболочко-ствольная КС (коробчато-ствольная, «труба в трубе», «труба в ферме») является максимально жесткой конструктивной системой, т. к. ее несущие конструкции расположены по внешнему контуру. Система состоит из наружной несущей оболочки и несущего ствола внутри здания. Горизонтальные и вертикальные нагрузки воспринимаются совместно всеми конструкциями. Наружная коробка выполняется в виде жесткой стальной или железобетонной пространственной безраскосной решетки, выполняющей также ограждающие функции. Наружный периметр стен жестко связан со стволом и дополнительно

укреплен мощными вертикальными связями (ростверками) в пределах технических этажей, а также жесткими дисками перекрытий. Совместная работа конструкций такой системы повышает жесткость сооружения на 30–50 % по сравнению с каркасно-ствольной КС и снижает прогибы от горизонтальных нагрузок.

Применяется в проектировании самых высоких зданий – 200 м и выше. Например, 100-этажное здание «Джон Хэнкок» и «Сире Тауэр» в Чикаго.

Конструктивная схема – это вариант конструктивной системы, который показывает состав и размещение в пространстве (в продольном и поперечном направлениях) основных несущих конструкций.

По характеру восприятия несущим остовом горизонтальных сейсмических нагрузок конструктивные схемы подразделяются на: рамную, связевую, рамно-связевую, связевую со стволом жесткости, рамную со стволом жесткости, коробчатую (оболочковую) с внутренними колоннами, коробчатую с пространственной раскосной решеткой, межсекционную коробчатую (рис. 11).

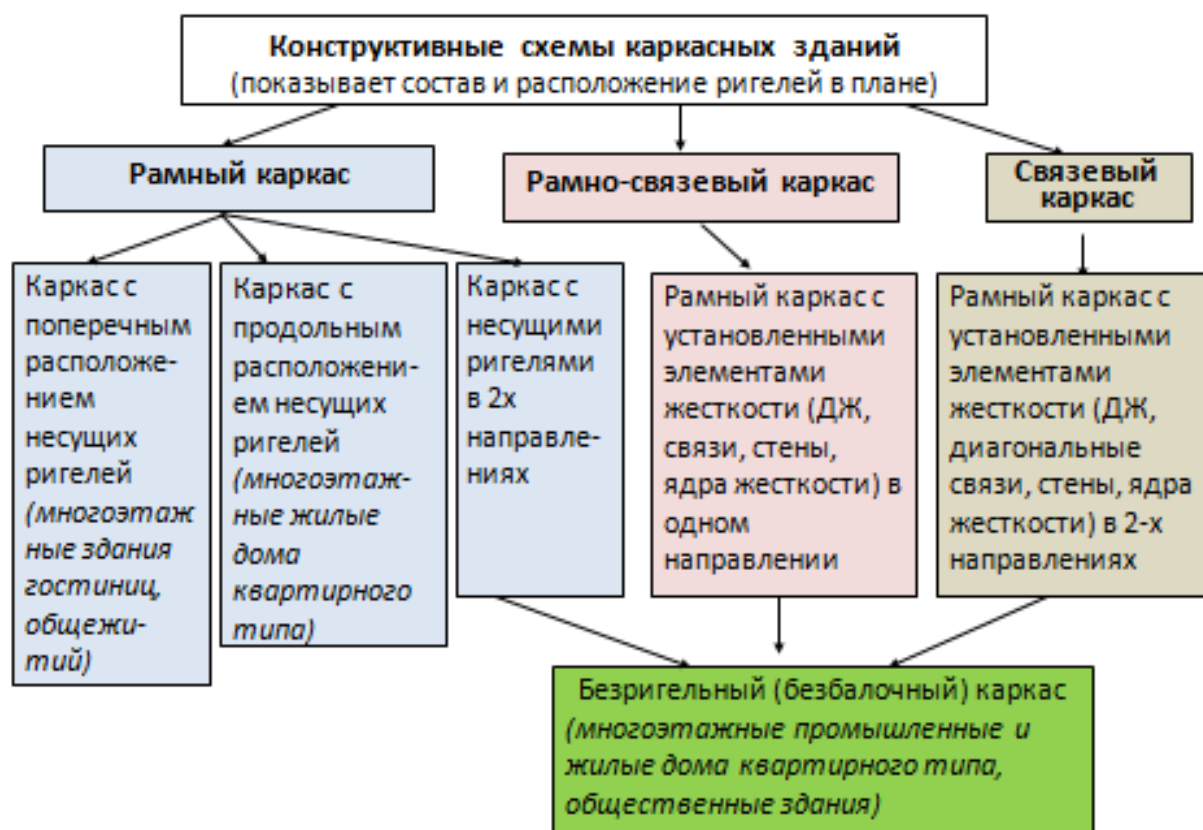


Рис. 11. Конструктивные схемы каркасных зданий

В практике сейсмостойкого строительства наиболее применимы три основные конструктивные схемы каркасных зданий: *рамная, рамно-связевая и связевая*, которые относят к зданиям с полным каркасом (рис. 12). В сейсмических районах здания с несущим поперечным каркасом встречаются чаще, чем с продольным каркасом, однако наибольшее предпочтение отдают полному каркасу (с перекрестным расположением ригелей), сейсмостойкость которого обеспечивается более равномерным распределением масс и жесткостей по зданию за счет объединения элементов в пространственную систему.



Рис. 12. Схема расположения несущих ригелей в каркасном здании [77]

Каркасные здания. Основа любого каркаса – это система стержневых несущих элементов, объединенных жесткими горизонтальными дисками перекрытий и системой вертикальных связей, которые обеспечивают геометрическую неизменяемость пространственной формы и устойчивость здания. Наружные стены в каркасных зданиях выполняют только ограждающую функцию и могут быть в виде самонесущих или навесных стен (рис. 13). Таким образом, в каркасных зданиях есть четкое разделение на несущие и ограждающие элементы, что позволяет одновременно применять материалы с разными конструктивными и прочностными характеристиками для различных конструкций.

Жесткость каркасных зданий значительно ниже стеновых (бескаркасных) (каменных, крупнопанельных, монолитных, блочных) следовательно, если для наружных стен применять легкие высокоэффективные материалы, то общий вес здания можно снизить в 2 и более раза и, таким образом, уменьшить сейсмические нагрузки во время землетрясения.

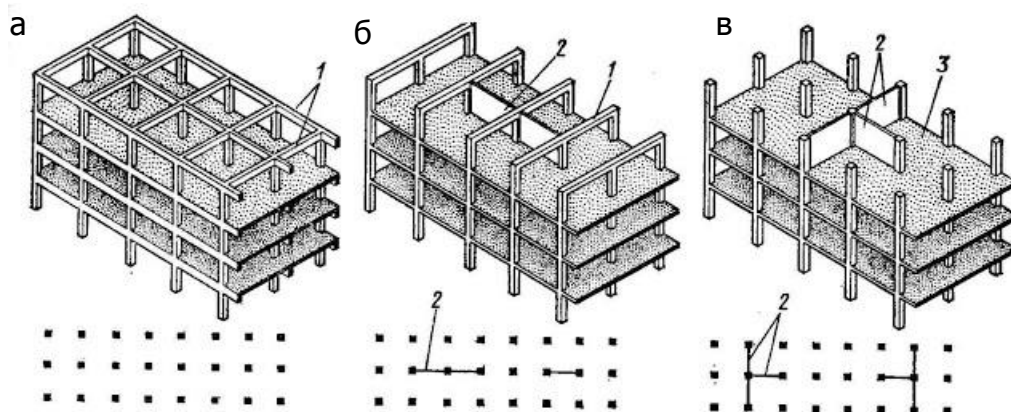


Рис. 13. Схемы несущих остовов каркасных зданий [77]:

а – рамная; б – рамно-связевая; в – связевая; 1 – ригели, 2 – вертикальные связи жесткости, 3 – жесткий диск перекрытия

Здания с рамным каркасом. В рамном каркасе основные несущие функции выполняет система колонн и ригелей, расположенных в двух ортогональных направлениях (рис. 13, а). Ригели жестко соединены с колоннами и об-

разуют пространственную систему, состоящую из плоских рам. Рамы воспринимают все вертикальные и горизонтальные (сейсмические и ветровые) нагрузки и передают их фундаментам.

В состав рамного каркаса входят также диски перекрытий, стены и лестничные клетки, связанные с элементами каркаса. Горизонтальные усилия, возникающие в плоскости дисков перекрытий, воспринимаются как самими дисками, так и перераспределяются между рамами. Конструкции наружных стен или заполнение каркаса при рамной схеме не должны препятствовать деформациям основного каркаса при сейсмических воздействиях.

Здания с рамными каркасами относятся к гибким конструктивным схемам с самыми большими периодами собственных колебаний среди других каркасных систем ($T > 1$ с), (следовательно, сейсмические нагрузки самые меньшие) отсюда, здания с рамными каркасами обладают значительным резервом пластической работы за пределом упругости.

Здания с рамно-связевым каркасом. Рамно-связевый каркас состоит из плоских рам с жесткими узлами в одном направлении (обычно поперечном) и вертикальных элементов жесткости (диафрагм, диагональных связей из металла или ж/бетона, стен или ядер жесткости) в другом направлении (рис. 13, б). Пространственная жесткость и устойчивость здания обеспечиваются совместной работой всех несущих конструкций, а вертикальные и горизонтальные сейсмические нагрузки распределяются между рамами каркаса и вертикальными элементами жесткости, пропорционально жесткости каждого из элементов. Связевыми диафрагмами также могут быть поперечные, продольные, торцевые стены и стены лестничных клеток. Чтобы исключить закручивание каркаса при сейсмических воздействиях, связевые элементы размещают равномерно и симметрично на каждом этаже в плане и по высоте относительно осей здания.

При работе каркаса вертикальные нагрузки передаются на элементы каркаса, а горизонтальные сейсмические нагрузки на ДЖ, связи и перекрытия, которые выполняют функцию жестких горизонтальных дисков – все это снижает горизонтальные перемещения каркаса здания при землетрясении. Опыт проектирования показывает, что диафрагмы в зданиях такой системы способны воспринимать до 85–95 % горизонтальных нагрузок. Навесные стены при жестком соединении с каркасом также служат вертикальными элементами жесткости.

В некоторых случаях для повышения сейсмостойкости многоэтажных каркасных зданий и обеспечения более свободного пространства в нижних этажах здания устраивают специальные дополнительные связи.

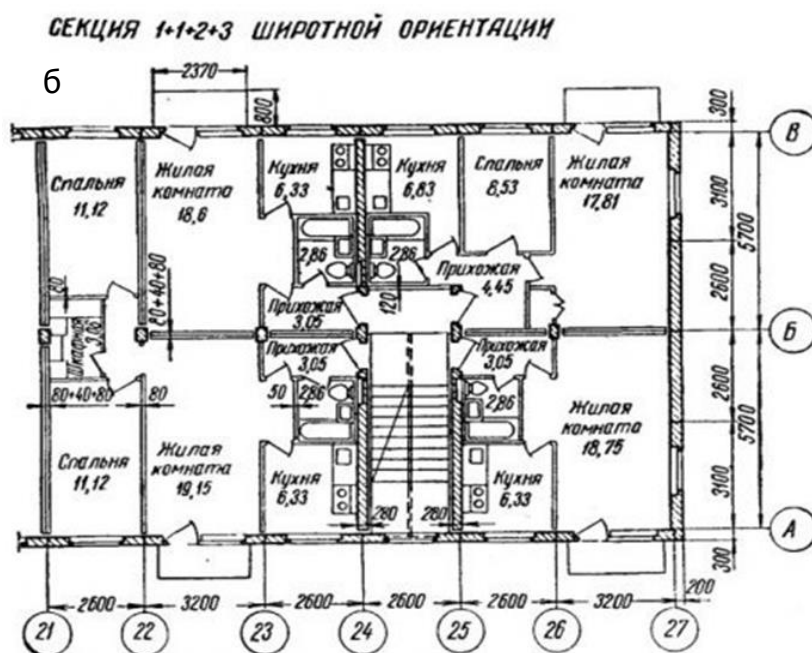
Здания со связевым каркасом. Основные несущие конструкции – это система колонн, горизонтальные диски перекрытий, вертикальные связевые диафрагмы, стены и/или ядра жесткости. Причем связевые диафрагмы жесткости или диагональные связи устанавливаются в плане в ортогональных направлениях, по всем этажам здания, друг над другом (рис. 13, в).

Диафрагмы жесткости, связи или ядра жесткости совместно с диском перекрытия воспринимают все горизонтальные сейсмические нагрузки. Каркас здания воспринимает только вертикальные нагрузки.

Перекрытия в связевой схеме работают и на вертикальные нагрузки, и воспринимают горизонтальные силы. Они передают их диафрагмам, перераспределяя усилия между диафрагмами различной жесткости, участвуют в совместной работе надземной части здания с фундаментами. При больших рассто-

Особенность связевого каркаса – узлы соединения ригелей с колоннами, они могут быть шарнирные.

Здания с неполным каркасом (внутренний каркас и несущие наружные стены). Здания с неполным каркасом отличаются неравномерным распределением горизонтальных жесткостей в плане (рис. 14). Наружные стены при неполном каркасе являются несущими, поэтому нагрузка от перекрытий, конструкций крыши и других элементов передается непосредственно или через прогоны на наружные стены и внутренние колонны каркаса (рис. 15).



а – общий вид жилого дома серии 1-335; б – фрагмент плана рядовой блок-секции серии 1-335

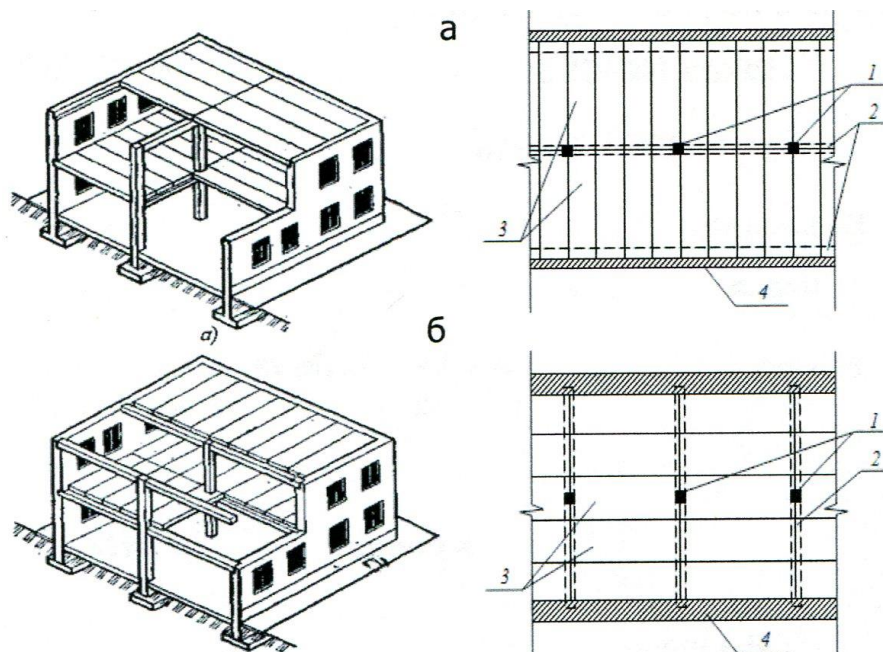


Рис. 15. Конструктивные схемы зданий с неполным каркасом [77]:

а – с продольным расположением ригелей; б – с поперечным расположением ригелей; 1 – колонны, 2 – ригели, 3 – плиты перекрытий, 4 – наружные стены

Безригельный каркас. Безригельный каркас – это конструктивная система, в которой плиты перекрытий опираются непосредственно на колонны каркаса без использования дополнительных балок или ригелей.

Для примера рассмотрим конструкцию югославского безригельного каркаса системы IMS, запроектированного для районов с сейсмичностью 7 и 8 баллов. В 1957 г. Институтом по испытанию материалов Сербии под руководством проф. Жежеля была разработана конструктивная система IMS для строительства каркасно-панельных жилых и общественных зданий с преднапряжением дисков перекрытия в построечных условиях, которая получила широкое распространение в Югославии, Венгрии, Австрии, Италии, Египте, Анголе, Кубе и др.

Система IMS основана на планировочной сетке колонн размером от $3,0 \times 3,0$ до $6,0 \times 7,2$ м. Каждая конструктивная ячейка образована из 4-х колонн и плиты перекрытия. До размера $4,2 \times 4,2$ м ячейка перекрывается одной сборной плитой, при больших размерах – двумя плитами перекрытий, соединенных между собой на сварке.

Отличительная особенность каркаса – все несущие элементы системы объединяются в единую пространственную конструкцию за счет натяжения на бетон высокопрочной арматуры из канатов, которые пропускаются в зазорах между панелями перекрытий и через сквозные отверстия колонн, расположенные в уровне перекрытий (рис. 16). С наружной стороны колонн преднапряженные канаты анкеруются цанговыми зажимами, которые впоследствии бетонируются и остаются в здании. После натяжения канатов в двух ортогональных направлениях, каналы с канатами в колоннах инъецируются цементным раствором, а далее бетонируют все осевые швы между плитами перекрытий, в которых находятся натянутые канаты. Таким образом, высокопрочная арматура была защищена от коррозии.

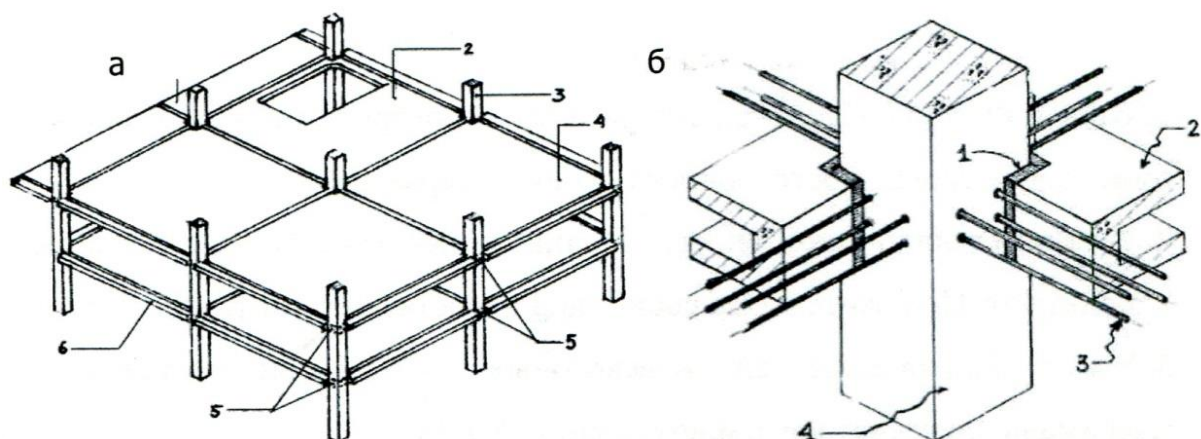


Рис. 16. Несущий каркас «системы ИМС» с натяжением рабочей арматуры на монтаже [78]:
 а – общий вид несущих конструкций каркаса, где 1 – консольное перекрытие, 2 – перекрытие с проемом для лестницы, 3 – колонна, 4 – перекрытие, 5 – натягаемая канатная арматура, 6 – бортовые элементы; б – конструктивная схема узла примыкания перекрытия к колонне, где 1 – заделка зазоров между плитами перекрытий с угловыми вырезами и колоннами мелкозернистым бетоном, 2 – пустотная плита перекрытия, 3 – напряженная высокопрочная арматура, 4 – железобетонная колонна

Ребра панелей перекрытий вместе с бетоном замоноличивания образуют ортогональные сборно-монолитные преднапряженные ригели каркаса. Колонны каркаса могли быть высотой в 1–2 или 3 этажа (рис. 17). В качестве перекрытия использовались как ребристые, так и пустотные сборные плиты перекрытий с усиленным опорным контуром.



Рис. 17. Конструкции безригельного каркаса серии 1.120с «системы ИМС»

Колонны с «разрывом сборного бетона». Согласно конструктивному решению в сборной колонне, в уровне примыкания ригелей, имеется не забетонированный участок, а так называемый «разрыв сборного бетона» (рис. 18). Выпуски рабочей арматуры ригелей в зоне разрыва стыкуются между собой при помощи специальных арматурных вставок. После сварки участок разрыва колонны и опорные участки ригелей замоноличивают. В зависимости конструктивного решения существует несколько вариантов этого узла, согласно которым торец верхней колонны может иметь плоское, пирамидальное или цилиндрическое очертание.



Рис. 18. Монтаж конструкций каркаса с «разрывом сборного бетона» в городах Шелехове и Ангарске Иркутской области

Такая сборно-монолитная конструкция проста в монтаже, а разрыв бетона упрощает процесс стыковки и сварки рабочей арматуры ригелей. Необходимое условие надежности узла – высокое качество замоноличивания, предотвращающее образования щели между «старым» затвердевшим сборным бетоном колонны и новым бетоном замоноличивания.

Недостатки:

- повышенная податливость поэтажных стыков способна повлиять на деформативное состояние всей конструкции и на перераспределении усилий между элементами при действии горизонтальной нагрузки;

- натурные испытания рамных узлов такой конструкции показали наличие усадочной трещины между «старым» и новым бетоном в уровне верха замоноличивания, следовательно, нарушается жесткость сопряжения узла.

В силу этих причин применение узлов подобной конструкции в рамных каркасах сейсмостойких зданий не рекомендуется.

Основные требования норм сейсмостойкого строительства к зданиям каркасной конструктивной системы

В каркасных зданиях горизонтальную сейсмическую нагрузку могут воспринимать: каркас; каркас с заполнением; каркас с вертикальными связями, диафрагмами или ядрами жесткости. В зданиях высотой более 9-и этажей использовать в качестве несущих конструкций следует каркасы с диафрагмами, связями или ядрами жесткости.

В зданиях с балочными перекрытиями при расчетной сейсмичности до 8 баллов может применяться конструктивная схема: рама проектируется в поперечном направлении, а связевая система – в продольном направлении здания.

Размеры выступов в плане здания не должны превышать шага колонн.

Диафрагмы, связи и ядра жесткости, воспринимающие горизонтальную нагрузку, должны быть непрерывными по всей высоте здания и располагаться в обоих направлениях равномерно и симметрично относительно центра тяжести здания. В каждом направлении следует устанавливать не менее 2-х диафрагм, расположенных в разных плоскостях.

Допускается в верхних этажах здания уменьшать число и протяженность диафрагм при сохранении симметричности их расположения в пределах этажа. Длина каждой диафрагмы жесткости должна быть не менее высоты этажа.

Максимальные расстояния между осями колонн в каждом направлении при безбалочных плитах и безбалочных плитах с капителями принимают:

- при сейсмичности 7 баллов – 7,2 м,
- при сейсмичности 8, 9 баллов – 6,0 м.

Предельная высота каркасных зданий в зависимости от конструктивного решения принимается по СП 14.13330.2018 (табл. 16):

Таблица 16

Предельные высоты каркасных зданий

Несущая конструкция	Предельная высота, м (этажность) при сейсмичности площадки в баллах		
	7	8	9
1. Стальной каркас	Не более 200 м		
2. Железобетонный каркас:			
– рамно-связевый, безригельный связевый (с ж/бетонными диафрагмами, ядрами жесткости или стальными связями);	57 (16)	43 (12)	34 (9)
– безригельный без диафрагм и ядер жесткости;			
– рамный с заполнением из штучной кладки, воспринимающей горизонтальные нагрузки, в т. ч., каркасно-каменной конструкции;	14 (4)	11 (3)	8 (2)
– рамный без заполнения и с заполнением, отделенным от каркаса	34 (9)	24 (7)	18 (5)
	24 (7)	18 (5)	11 (3)

В качестве ограждающих стеновых конструкций каркасных зданий следует применять легкие навесные панели. Допускается устройство кирпичного или каменного заполнения, с учетом требований норм.

Расстояния между антисейсмическими швами (предельная длина, ширина) отсека или блок-секции не должны превышать: при стальных каркасах – по требованиям для несейсмических районов, но не более 150 м; для зданий с железобетонным каркасом при расчетной сейсмичности 7–8 баллов – 80 м, при расчетной сейсмичности 9 баллов – 60 м.

Конструктивные схемы стеновых (бескаркасных) зданий

Для стеновых (бескаркасных) зданий характерны три основные конструктивные схемы (рис. 19).



Рис. 19. Конструктивные схемы стеновых (бескаркасных) зданий

А. При *несущих поперечных внутренних стенах (поперечно-стеновых)* перекрытия опираются на поперечные несущие стены, а наружные продольные стены являются навесными или самонесущими. Вертикальные нагрузки воспринимают внутренние поперечные стены. Горизонтальные нагрузки в зависимости от направления действия сейсмической волны. Если горизонтальная нагрузка действует параллельно поперечным внутренним стенам, то воспринимается этими стенами, если действует перпендикулярно поперечным стенам – воспринимается продольными стенами лестничных клеток и отдельными участками продольных НС и ВС.

Б. При *продольно-стеновой* схеме перекрытия опираются на продольные несущие стены. Вертикальные нагрузки воспринимают внутренние продольные стены. Горизонтальные – в зависимости от направления действия: либо продольными стенами, либо поперечными стенами лестничных клеток, торцевыми и межсекционными стенами.

В. При *перекрестно-стеновой* схеме перекрытия опираются на несущие продольные и поперечные стены, при этом наружные стены – навесные или несущие. Схема обладает высокой пространственной жесткостью. Вертикальные и горизонтальные нагрузки воспринимаются всеми несущими конструкциями.

Таким образом, пространственная жесткость зданий стеновой конструктивной схемы обеспечивается системой поперечных и продольных стен в сочетании с железобетонными плитами перекрытий размером на конструктивно-планировочную ячейку (комнату) здания (рис. 20).

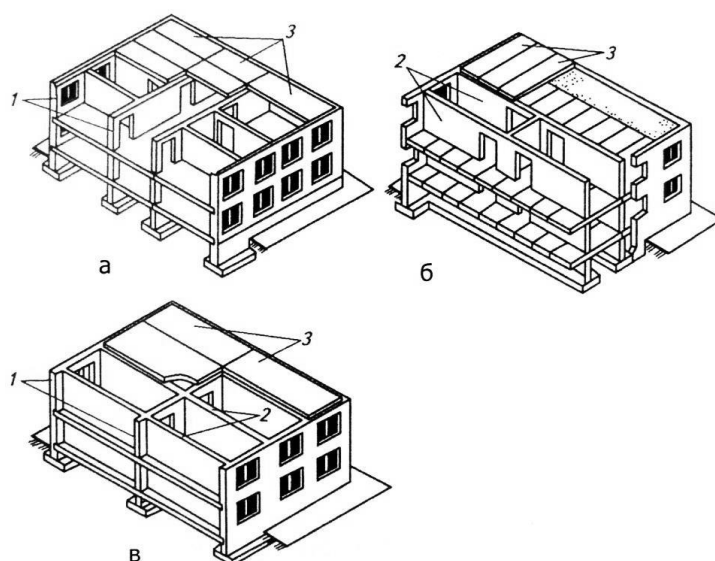


Рис. 20. Конструктивные схемы бескаркасных зданий [79]:

а – с продольным расположением несущих стен; б – с поперечным расположением несущих стен; в – перекрестная; 1 и 2 – продольные и поперечные несущие стены, 3 – плиты перекрытий

При строительстве зданий со стеновым несущим остовом преимущественно применяются 2 строительные системы:

- здания из крупных панелей (крупнопанельные здания КПД);
- здания с монолитными железобетонными несущими стенами.

Крупнопанельные здания

1. Основными конструктивными типами крупнопанельных зданий являются:

- *бескаркасный* с ячейковой структурой помещений, которые образуются при монтаже панелей и выполняют несущие и ограждающие функции;
- *каркасно-панельный* с большими размерами помещений и четким разделением несущих и ограждающих функций между конструкциями каркаса и стеновыми панелями;
- *комбинированный*, в котором сочетается оба типа в одном здании.

2. Поперечные несущие стены могут располагаться (рис. 21, 22):

- *с малым (узким)* шагом осей между поперечными внутренними стенами – 2,6–4,5 м. (самый распространенный – 3,0 и 3,6 м). Железобетонные плиты перекрытий толщиной 100–160 мм, размером на комнату; наружные стены – однослойные или трехслойные толщиной 400–450 мм. Архитектурно-планировочные решения привязаны к размеру сборных панелей;

- *с широким* шагом осей 4,8–6,0–7,2 м. Железобетонные плиты перекрытий толщиной более 160 мм размером на комнату с опиранием на стены по 3-м сторонам или многопустотные плиты толщиной с опиранием по торцам; наружные стены самонесущие, однослойные с однорядной поясной разрезкой.

Конструктивная система с широким шагом поперечных стен позволяет получить более свободные планировочные решения и более разнообразные типы квартир, обеспечить лучшее зонирование помещений, расширить возможности решения интерьеров и т. п.;

- *со смешанным* шагом – чередование первых двух шагов.

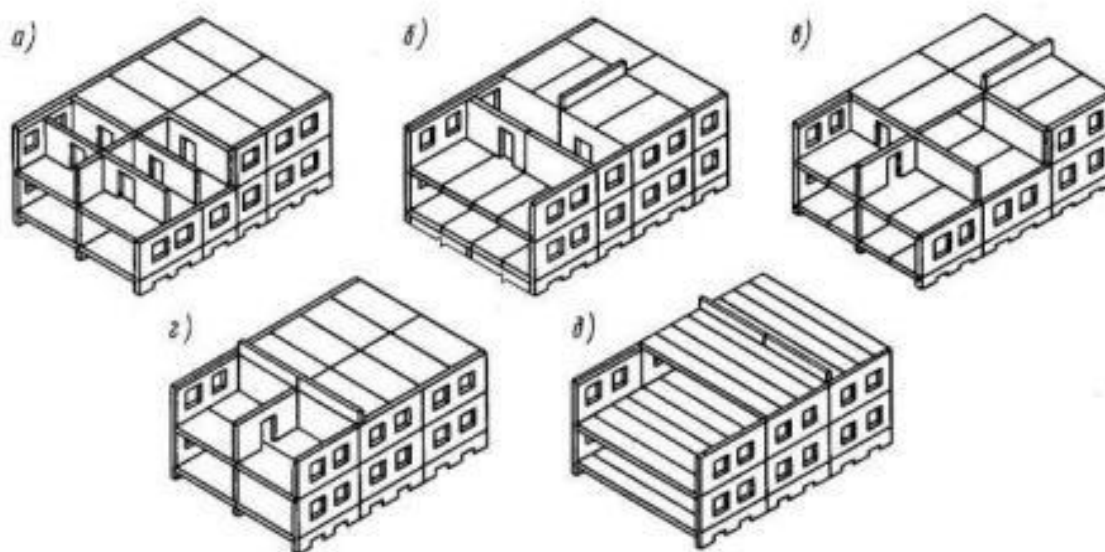


Рис. 21. Конструктивные схемы крупнопанельных зданий [79]:

- а – перекрестно-стеновая схема с малым шагом; б – поперечно-стеновая со смешанным шагом;
- в – поперечно-стеновая с большим шагом; г – продольно-стеновая (трехстенка);
- д – продольно-стеновая (двухстенка)

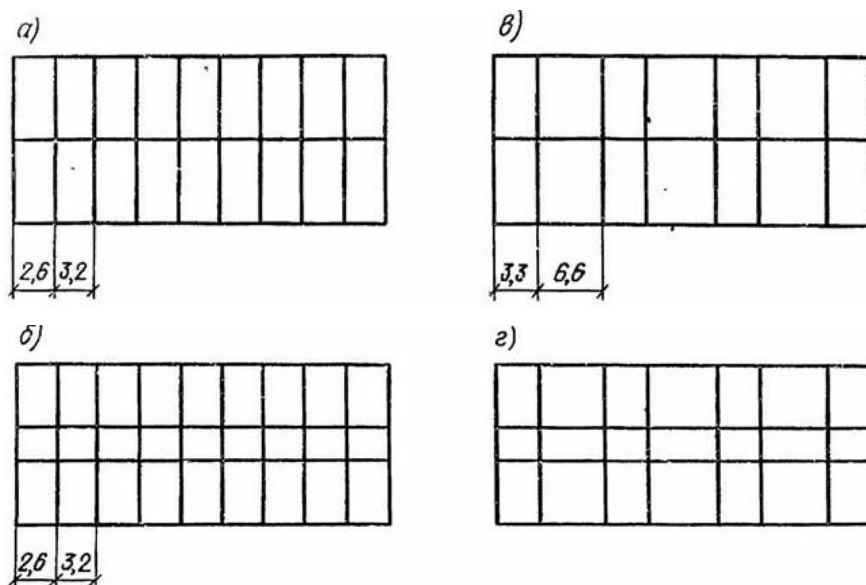


Рис. 22. Схема-план расстановки поперечных стен зданий:

а, б – схема зданий с узким поперечным шагом; в, г – схема зданий со смешанным шагом

3. Несущие продольные внутренние и наружные стены устанавливают:
- в зданиях до 5 этажей – с одной внутренней и двумя наружными стенами (рис. 23, а);
 - в зданиях свыше 5 этажей – с двумя внутренними и двумя наружными стенами (рис. 23, б).



Рис. 23. Пример плана здания:

а – с одной внутренней и двумя наружными стенами;
б – с двумя внутренними и двумя наружными стенами

В целом крупнопанельные здания отвечают наибольшим требованиям сейсмостойкости и представляют собой единую пространственную систему, жесткость которой обеспечивается системой поперечных и продольных стен в сочетании с плитами перекрытий из железобетона размером на конструктивно-планировочную ячейку (комнату) здания.

Требования норм сейсмостойкого строительства к крупнопанельным зданиям

Крупнопанельные здания проектируют с несущими продольными и поперечными стенами, объединенными между собой перекрытиями и покрытиями в единую пространственную систему, воспринимающую сейсмические нагрузки. Размеры панелей стен и перекрытий должны быть, как правило, на комнату.

Наружные стены являются несущими; участвуют в восприятии сейсмических нагрузок. Внутренний несущий слой многослойных панелей – не менее 100 мм.

Здания в плане должны быть симметричными относительно поперечных и продольных осей в пределах блок-секции или отсека. Это требование относится и к компоновке несущих и ограждающих стен, лестничных клеток и к расположению проемов.

Форма здания в плане – прямоугольная, здания сложной формы следует разделить на прямоугольные отсеки антисейсмическими швами. Допускается излом в плане не более двух стен; расстояние между стенами не более 4 м.

Фундамент под стены может быть ленточным из монолитного железобетона, из сборных железобетонных элементов или свайный. Под несущие стены ленточные фундаменты устраивают на одном уровне в пределах здания или блок-секции. При необходимости его устройства на разных отметках предусматривают уступы по общим требованиям.

Стены подвальных помещений панельные, надежно соединенные с фундаментным ростверком.

Проемы в стенах надземных этажей и подземной части здания не должны совпадать по вертикали.

Внутренние стены должны быть непрерывными (сквозными) на всю ширину и длину здания, без смещения осей стен по этажам и в плане здания.

Панели внутренних стен однослойные из тяжелого бетона толщиной 120–160 мм в зависимости от района сейсмичности, но возможны 2- или 3-слойной конструкции. Толщина межквартирной стены – 160 мм; толщина внутреннего не несущего слоя трехслойной панели не менее 120 мм.

Панели перекрытий сплошного сечения должны соответствовать размерам конструктивно-планировочной ячейки. Допускается применение многопустотных плит с круглыми пустотами.

Допускается одновременное устройство в несущих наружных стенах лоджий и балконов с симметричным расположением в плане. Боковыми стенами лоджий служат внутренние стены здания, перпендикулярные фасаду.

Антисейсмические швы выполняют путем возведения парных стен или рам, либо рам и стен. Ширина антисейсмического шва на каждом уровне должна быть не менее суммы амплитуд колебаний смежных отсеков здания.

Расстояние между антисейсмическими швами не должны превышать: для расчетной сейсмичности 7–8 баллов – 80 м и при 9 баллах – 60 м.

Предельная высота (этажность) крупнопанельных зданий с железобетонными стенами не должна превышать следующих значений:

- 57 м (16 этажей) – при 7 баллах;
- 50 м (14 этажей) – при 8 баллах;
- 43 м (12 этажей) – при 9 баллах.

Монолитные и сборно-монолитные здания из железобетона

К монолитным относят здания, все стены и перекрытия которых выполняются из монолитного железобетона непосредственно на месте возведения здания или сооружения. При сочетании монолитных конструкций со сборными (отдельные участки внутренних стен и перекрытий, наружные стены) здание называется сборно-монолитным [58].

В монолитном домостроении можно использовать практически все известные конструктивные системы – *стеную, каркасную, ствольную, оболочковую* – со всеми возможными их комбинациями. Но чаще всего монолитные и сборно-монолитные жилые здания проектируют на основе стеновых конструктивных систем. Для применения монолитных зданий ствольно-стеновой конструкции с одним или несколькими стволами и каркасно-ствольной конструктивных систем необходимо технико-экономическое обоснование.

Несущий остов монолитных зданий – это неразрезные элементы наружных и внутренних несущих стен, колонн, ригелей и перекрытий, жестко связанных между собой в пространственную систему, работающую как одно единое целое.

Монолитный способ возведения зданий дает возможность получить здание любой формы в плане с нестандартной высотой этажей, с любыми формами и размерами проемов, уйти от однообразия застройки, от типового решения планировок, т. е. разнообразить архитектурные решения сооружений.

Недостатки монолитной технологии строительства зданий:

- невозможность круглогодичного бетонирования (температурные ограничения), а отсюда более длительные сроки строительства по сравнению со сборной технологией возведения;
- необходимость обеспечения непрерывного процесса бетонирования;
- сложность подачи бетона на высоту возводимого здания более 12 этажей;
- высокая трудоемкость возведения.

При проектировании монолитных и сборно-монолитных зданий следует предусматривать технологические и температурно-осадочные швы, учитывающие возможные деформации от усадки бетона, которые для стеновых систем не должны превышать определенных нормативных значений (табл. 17).

Таблица 17

Температурно-осадочные швы для различных видов перекрытий

Конструктивная система	Расстояние между температурно-осадочными швами	
	монолитных	сборных
Перекрестно-стеновая с несущими наружными и внутренними стенами, продольно-стеновая	40	60
Перекрестно-стеновая с несущими наружными стенами, поперечно-стеновая, поперечно-стеновая с отдельными продольными диафрагмами	50	80
Поперечно-стеновая без продольных диафрагм	70	–

Требования норм сейсмостойкого строительства к монолитным и сборно-монолитным зданиям

Монолитные здания проектируют в виде перекрестно-стеновой системы с несущими поперечными и продольными стенами, в том числе наружными. Жесткости каждого из этажей, кроме верхнего, должны обеспечивать стены, диафрагмы, ядра жесткости; при этом жесткость верхнего этажа здания должна быть не менее 50 % жесткости нижележащего этажа.

Перекрестно-стеновую схему с несущими наружными стенами выполняют монолитной или сборно-монолитной, а перекрытия – сборными или сборно-монолитными. При ненесущих наружных стенах их монтируют из сборных блоков или панелей, а плиты перекрытия из монолитного железобетона.

В зависимости от назначения и размеров помещений, располагаемых в первых этажах зданий, используются следующие конструктивные схемы:

- стеновая, с полным совпадением осей нижних и верхних этажей (если в нижних этажах жилых зданий размещаются небольшие по размеру помещения);
- стеновая, с частичным совпадением осей стен нижних и верхних этажей (если в нижних этажах расположены помещения с пролетами от 9 м и более). Допускается наличие опор в виде пилонов, колонн сложного профиля, арок, стен, лестнично-лифтовых узлов;
- каркасные системы с полным совпадением осей каркаса нижних этажей и стен верхних этажей;
- каркасные системы с частичным совпадением осей каркаса нижних этажей и стен верхних этажей.

Внутренние поперечные и продольные стены зданий на площадках 8 и 9 баллов не должны иметь изломов в плане в пределах стены. Максимальное расстояние между несущими стенами не должно превышать 7,2 м.

В зданиях с ненесущими наружными стенами должно быть не менее 2-х внутренних продольных и поперечных стен.

Внутренние стены выполняют однослойными из тяжелого бетона толщиной 160 мм; при наличии обоснования возможно изготовление из легкого бетона пористых заполнителей (керамзитобетона), толщиной 180 мм.

Рекомендуемая ширина проемов в несущих стенах не более 2,5 м; ширина простенков не менее 400 мм.

Наружные стены могут быть однослойными, двухслойными или трехслойными. Выступ части наружных стен в плане не должен превышать 6 м для зданий с расчетной сейсмичностью 7 и 8 баллов и 3 м для зданий с расчетной сейсмичностью 9 баллов.

Сейсмостойкость зданий и сооружений

Сейсмостойкость – способность строительных объектов противостоять действию расчетного землетрясения, сохраняя свои эксплуатационные качества, с учетом допускаемых повреждений, обеспечивая безопасность людей и сохранность ценного оборудования. Сейсмостойкость объекта строительства зависит от расчетной сейсмичности площадки строительства и от уровня ответственности самого строительного объекта.

Сейсмостойкость зданий и сооружений обеспечивают две группы факторов. Первая группа формируется свойствами принятой конструктивной системы,

которая обеспечивает «живучесть» объекту. Вторая группа факторов складывается из антисейсмических мероприятий, которые согласно требованиям норм закладываются на стадии проектирования и подразделяются на расчетные (учет различных коэффициентов) и конструктивные [45].

В понятие живучесть строительного объекта заложена способность конструктивной системы адаптироваться к новым, изменившимся, как правило, аварийным условиям, противостоять вредным воздействиям, выполняя при этом основную функцию за счет сохранения остаточной работоспособности, не допуская полного обрушения, при запроектных воздействиях. Конечно, количественный показатель фактора «живучести» в формировании общей сейсмостойкости зданий у каждой конструктивной системы будет разным.

В конечном итоге, показатель уровня сейсмостойкости основывается на принципах динамики сооружений и нормах сейсмостойкого проектирования.

Если принимать во внимание только сильные землетрясения, которые определяют балльность района по картам ОСР: карта ОСР А – 1 раз в 500, карта В – 1 раз в 1000 лет и карта С – 1 раз в 5000 лет, то видим, они повторяются крайне редко. И при такой повторяемости разрушительных землетрясений возводить сооружения, которые способны выдержать их без повреждений казалось бы нецелесообразно. Однако за время эксплуатации зданий довольно часто происходят относительно слабые и умеренные землетрясения, которые способствуют накоплению внутренних напряжений и образованию скрытых повреждений в конструкциях, приводящих к нарушению нормальной эксплуатации зданий – так называемый *сейсмический износ конструкций и сооружений* (о сейсмическом износе см. ниже в разделе «Оценка уязвимости...»). Поэтому, выполняя требования норм для сейсмостойких зданий, мы способствуем исключению нарушений нормальной эксплуатации зданий при частых слабых и умеренных землетрясениях.

В мировой практике сейсмостойкого строительства принят такой подход:

- при относительно слабых, но частых землетрясениях – антисейсмические мероприятия обеспечивают нормальную эксплуатацию зданий;
- при землетрясениях средней силы – ограничивают их повреждаемость;
- при редких разрушительных землетрясениях – сохраняют жизнь людей и особо ценного оборудования.

Класс сейсмостойкости – это характеристика здания или сооружения, определяющая, прежде всего, уровень его сейсмостойкости. Например, класс здания С8 подразумевает, что при его проектировании учитывались требования норм, отвечающие расчетному воздействию, которое будет испытывать здание при землетрясении интенсивностью 8 баллов, при этом оно получит повреждения не выше средней степени. То есть, если здание или сооружение было запроектировано на 8 баллов, то его класс сейсмостойкости устанавливается как С8 [13]. Один и тот же класс сейсмостойкости (например, С8) может относиться к разным типам зданий, но с одинаковым уровнем сейсмоусиления – крупнопанельным, монолитным, кирпичным, каркасным и т. д. По существу, класс здания – это совокупность конструктивных типов зданий равной сейсмостойкости.

Понятие «класс сейсмостойкости» широко используется в отечественных и зарубежных шкалах сейсмической интенсивности – ММСК-84, ММСК-86, ММСК-92, EMS-98, РШСИ-2002, ESI-2007, ГОСТ Р 57546-2017. Более ранние шкалы содержали понятие «типы зданий», которые, хоть и в неявной форме, но

тоже отражали сейсмостойкость зданий. Стоит уточнить, что шкала EMS-98 заменила понятие «класс сейсмостойкости» на «класс уязвимости» зданий.

При определении «класса уязвимости» зданий предъявляют требования:

– конструктивного характера (конструктивная система, материал, технология возведения);

– к уровню качества строительства (низкий, средний, высокий);

– к уровню регулярности зданий (низкий, средний, высокий), зависящий от их объемно-планировочных и конструктивных решений.

Несколько позднее в определение понятия «класса сейсмостойкости» включили аналогичные требования.

«Класс сейсмостойкости» согласно [66] – это характеристика здания или сооружения, определяющая его сейсмостойкость, зависящая от расчетного сейсмического воздействия, на которое проектировалось здание или сооружение, и от категории его технического состояния (ТС) на момент назначения класса сейсмостойкости (табл. 18).

Таблица 18

Классы сейсмостойкости зданий и сооружений

Характеристика зданий и сооружений	Класс сейсмостойкости
1	2
Здания и сооружения аварийной категории ТС. Не рассчитанные на сейсмические воздействия здания и сооружения категории ограниченно работоспособного ТС	C5
Здания не ниже работоспособного ТС со стенами из местных строительных материалов: глинобитные без каркаса; саманные или из сырцового кирпича без фундамента; выполненные из окатанного или рваного камня на глиняном растворе и без регулярной кладки в углах и т. п. Здания и сооружения ограниченно работоспособного ТС: саманные армированные с фундаментом, деревянные, рубленые «в лапу» или «в обло», из глиняного кирпича, тесаного камня или бетонных блоков на известковом, цементном или сложном растворе	C6
Здания и сооружения, не рассчитанные на сейсмические воздействия, категории не ниже работоспособного ТС. Здания и сооружения ограниченно работоспособного ТС всех видов (кирпичные, каркасные, панельные, деревянные, щитовые и др.) с антисейсмическими мероприятиями на 7 и 8 баллов	C6
Здания и сооружения не ниже работоспособного ТС: саманные армированные с фундаментом, деревянные, рубленые «в лапу» или «в обло», из жженного кирпича, тесаного камня или бетонных блоков на известковом, цементном или сложном растворе. Здания и сооружения не ниже работоспособного ТС всех видов (кирпичные, блочные, каркасные, панельные, деревянные, щитовые и др.) с антисейсмическими мероприятиями на 7 баллов. Здания и сооружения ограниченно работоспособного ТС всех видов (кирпичные, блочные, каркасные, панельные, деревянные, щитовые и др.) с антисейсмическими мероприятиями на 8 и 9 баллов	C7

Окончание табл. 18

1	2
Здания и сооружения не ниже работоспособного ТС всех видов с проведением антисейсмических мероприятий на 8 баллов. Здания и сооружения ограниченно работоспособного ТС всех видов (кирпичные, блочные, каркасные, панельные, деревянные, щитовые и др.) с антисейсмическими мероприятиями на 9 и 10 баллов	C8
Здания и сооружения не ниже работоспособного ТС с проведением антисейсмических мероприятий на 9 баллов. Здания и сооружения ограниченно работоспособного ТС всех видов с антисейсмическими мероприятиями на 10 баллов	C9
Здания и сооружения не ниже работоспособного ТС с проведением антисейсмических мероприятий на 10 баллов	C10
<i>Примечание:</i> класс сейсмостойкости эксплуатируемых зданий и сооружений устанавливается с использованием результатов обследования их ТС в соответствии с ГОСТ 31937	

Цель оценки класса сейсмостойкости зданий и сооружений в сейсмических районах – установление их реальной (фактической) сейсмостойкости, которая может отличаться от начальной (проектной) сейсмостойкости, обеспечиваемой выполнением требований норм при проектировании и строительстве.

Оценка фактической сейсмостойкости зданий и сооружений основывается на результатах экспериментальных исследований натурных объектов (вибрационные и сейсмозрывные испытания, с помощью знакопеременной статической нагрузки и др.) при высоком уровне динамического воздействия, соизмеримом по величине с сейсмическими нагрузками при реальных землетрясениях, а не с помощью микродинамических воздействий или экспертных оценок (табл. 19).

Таблица 19

Структура методов технической диагностики зданий и сооружений

Уровень динамического воздействия	Вид испытаний зданий и сооружений
Высокий уровень динамического или статического воздействия	Вибрационные испытания
	Сейсмозрывные испытания
	Знакопеременные статические испытания
Микродинамический уровень воздействия	Запись микросейсмических колебаний сооружения
	Метод «стоячих волн»
	Воздействия импульсного типа
Прочностные испытания	Отбор образцов из несущих конструкций с последующими лабораторными испытаниями
	Неразрушающие методы контроля
	Исследования физического износа материала конструкций

Класс сейсмостойкости используется:

– при оценке комплексной градостроительной безопасности и формировании плана превентивных мероприятий по снижению сейсмической угрозы;

- при выполнении работ по обследованию последствий землетрясений;
- при оценке силы происшедшего землетрясения;
- при использовании в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности.

Класс сейсмостойкости является интегральной характеристикой и согласно [66] назначается для качественной оценки сейсмостойкости здания или сооружения. Однако на протяжении жизненного цикла здания он снижается, поэтому необходим периодический контроль за техническим состоянием зданий и изменением класса сейсмостойкости во времени.

При недостаточном уровне сейсмостойкости зданий возникает дефицит сейсмостойкости.

Дефицит сейсмостойкости – это разница между расчетной сейсмичностью территории и фактическим уровнем сейсмостойкости здания в баллах. Чем больше дефицит сейсмостойкости, тем выше степень повреждения здания или сооружения при расчетном землетрясении. Современные сейсмические шкалы имеют 6 степеней повреждения зданий: 0-я степень – отсутствие повреждений, 1-я степень – «легкие» повреждения, 2-я – «умеренные», 3-я – «тяжелые», 4-я – «частичные обрушения» и 5-я – «обвалы» или полное разрушение зданий. По данной классификации предельно допустимой степенью, после которой наступает значительный риск гибели людей, является 3-я степень повреждения. Ниже приведены соотношения классов сейсмостойкости и характеристики повреждаемости зданий по разным шкалам сейсмической интенсивности.

Согласно [58] дефицит сейсмостойкости следует определять по отношению к проектному землетрясению (ПЗ), а при соответствующем назначении здания и по отношению к максимальному расчетному землетрясению (МРЗ).

При оценке конструктивной уязвимости здания также можно опираться на дефицит сейсмостойкости, который в этом случае будет определяться как разность между его проектной и фактической сейсмостойкостью в баллах.

подавляющее большинство зданий и сооружений в сейсмоопасных районах России возведено в разные периоды строительства, большая их часть имеет дефицит сейсмостойкости от 1 до 3-х баллов.

Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. Все здания в шкале разделены:

- по типам;
- по степеням повреждений;
- по количеству зданий, получивших повреждения при землетрясении.

Все здания в шкале MSK-64 не имели антисейсмических мероприятий [31]. Типы зданий по сейсмической шкале:

- тип А – здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, самана, глинобитные дома;
- тип Б – кирпичные, крупноблочные и панельные здания;
- тип В – каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки.

В табл. 20 на основании статистических данных о последствиях землетрясений составлены зависимости между интенсивностью землетрясений и степенями повреждения зданий [27].

Таблица 20

Зависимости степеней повреждений от балльности землетрясений

Интенсивность в баллах	Типы зданий					
	А		Б		В	
5	Отдельные	1				
6	Отдельные	2	Отдельные	1		
	Многие	1				
7	Отдельные	4	Отдельные	3	–	
	Многие	3	Многие	2	Многие	1
8	Отдельные	5	Отдельные	4	Отдельные	3
	Многие	4	Многие	3	Многие	2
9	–		Отдельные	5	Отдельные	4
	Многие	5	Многие	4	Многие	3
10	Большинство	5	–		Отдельные	5
			Многие	5	Многие	4

Количественные характеристики поврежденных зданий делятся на *отдельные* (5 %), *многие* (50 %) и *большинство* (75 %).

Европейская макросейсмическая шкала EMS-98. Шкала использует понятие *класса уязвимости* здания, который включает в себя: конструктивный тип здания, уровень качества строительства, уровень регулярности здания [48].

Шкала содержит 6 классов зданий: А, В, С, D, Е и F, первые три из них примерно соответствуют типам А, Б и В по шкале MSK-64.

Классификация содержит «инженерные» здания с уровнем антисейсмического проектирования: ASD₇, ASD₈, ASD₉, где цифровой индекс – это балльность, а также EASD – «инженерные» здания без антисейсмических мероприятий».

Уровень качества строительства и уровень регулярности зданий подразделяются на *низкий* (*l*), *средний* (*m*) и *высокий* (*h*).

Соотношение уровня сейсмостойкости зданий по различным шкалам сейсмической интенсивности приведено в табл. 21.

Таблица 21

Соотношение уровня сейсмостойкости зданий по различным шкалам сейсмической интенсивности

Классификация зданий по уровню сейсмостойкости							
MSK-64		A	Б	В			
MMSK-86	A1	A2	Б	C7	C8	C9	
РШСИ		C5	C6	C7	C8	C9	
EMS-98		A	B	C	D	E	F

Шкала сейсмической интенсивности» ГОСТ Р 57546. В 2017 г. утверждена Российская шкала ГОСТ Р 57546 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности» [57]. Оценка интенсивности землетрясений определяется:

– по реакции категорий-сенсоров: «люди», «предметы быта», «здания и сооружения», «транспортные сооружения», «трубопроводные сооружения», «природные явления» – *макросейсмические данные*;

- по уравнению макросейсмического поля – *сейсмологические данные*;
- по инструментальным данным – *инженерно-сейсмометрические обследования*.

В ГОСТ Р нет деления на сейсмостойкие здания и здания без антисейсмических мероприятий, а введена сквозная классификация.

Шкала имеет 4 класса зданий по уровню сейсмостойкости С6, С7, С8 и С9.

А. Для зданий установлены 6 степеней повреждений – от 0 – «отсутствие видимых повреждений» до 5 – «разрушение здания с потерей его формы».

Б. Для транспортных сооружений принято 6 степеней повреждений – от d_0 – отсутствие повреждений – до d_5 – полного разрушения сооружения.

В. Для трубопроводных сооружений определены 4 степени повреждений – от d_0 – отсутствие повреждений – до d_3 – тяжелые повреждения.

Конечно, степень повреждения зданий при землетрясении в какой-то мере величина вероятностная, поэтому уязвимость зданий и сооружений следует оценивать, прежде всего, в зависимости от конструктивного типа и физического состояния несущих конструкций, от уровня его фактической сейсмостойкости и, конечно, от спектральных параметров сейсмического воздействия.

Физический и сейсмический износ конструкций и сооружений

Физический износ связан со старением материала. Эта количественная оценка технического состояния, показывающая долю ущерба в % относительно первоначального состояния технических и эксплуатационных свойств конструкций.

Таблица 22

Соотношение технических показателей здания

Степень повреждений по ММСК-86	Физический износ, %	Техническое состояние по ГОСТ 31937-2011	Снижение несущей способности, %	Вид ремонтно-восстановительных работ
0–1	< 20	нормативное	< 15	техническое обслуживание, текущий ремонт
2	21–40	работоспособное	15–30	текущий и капитальный ремонты
3	41–60	ограниченно работоспособное	30–50	капитальный ремонт, восстановление или усиление
4	61–80	аварийное	> 50	оценивается целесообразность усиления или замены несущих конструкций, снос здания
5	81–100		–	снос здания

Физический износ зданий или сооружений сопровождается снижением прочностных показателей, тепло- и звукоизоляционных свойств, водо- и воздухо- непроницаемости, влияющих на несущую способность зданий, что отображается в виде изменения параметров динамических характеристик зданий. В табл. 22 показан процент снижения обобщенной несущей способности здания в зависимости от степени повреждения и процента физического износа основных несущих конструкций зданий.

Сейсмический износ. В процессе жизненного цикла многие здания и сооружения в сейсмоактивных районах подвергаются воздействию нескольких сильных, а иногда и разрушительных землетрясений. Согласно сейсмической шкале величина степени повреждения зданий зависит от интенсивности (балльности) произошедшего землетрясения и от конструктивного типа здания.

Анализ последствия сильных землетрясений показывает, что даже в одной местности существует значительная разница в степени повреждения однотипных зданий, которые перенесли одно или два, а иногда и три расчетных землетрясения. Например, в Петропавловске-Камчатском, где вероятность землетрясения силой 8–9 баллов довольно высокая, большинство зданий перенесло несколько сильнейших землетрясений. Многие здания в Газли перенесли землетрясения силой 8–9 баллов сразу двух землетрясений – в апреле и мае 1976 г., а не разрушившиеся до конца здания – еще и третье, в 1984 г. В Кишеневе (б. Молдавская ССР) здания испытали два, а некоторые три землетрясения (1940, 1977 и 1986 гг.), приходившие из зоны ВОЗ в районе Вранча. Все три землетрясения проявились практически с одинаковой интенсивностью. В работе [9] проанализирована вероятность повреждений в зданиях при разном количестве перенесенных землетрясений. Так, например, для зданий типа Б (кирпичные и каменные здания), при условии, что до землетрясения в них не было повреждений $d_0 = 0$ получат:

- при первом 8–9-балльном землетрясении величина повреждения составит $d_1 = 0,3$; при повторном землетрясении $d_2 = 1$, т. е. приращение степени повреждения составит $\Delta d_2 = 0,7$; при третьем землетрясении $d_3 = 2,2$, т. е. приращение степени повреждения относительно второго землетрясения $\Delta d_3 = 1,2$; при четвертом землетрясении $d_4 = 3,8$ ($\Delta d_4 = 1,6$); при пятом землетрясении наступит полное разрушение здания $d_5 = 5$.

В реальности, даже в каждом новом доме есть дефекты, поэтому первоначальная величина степени повреждения $d_0 \neq 0$, тем более, если здание много лет находилось в эксплуатации. В конструкциях зданий появляются трещины и дефекты различного происхождения, которые снижают прочностные характеристики всего сооружения. Трещины могут быть:

- усадочные, появившиеся при изготовлении конструкций;
- температурные, как результат действия перепадов температур;
- эксплуатационные – при перегрузке или перенапряжении в несущих конструкциях при работе всего сооружения;
- осадочные, как результат неравномерных осадок просадок или пучения грунтов основания.

Именно осадочные трещины довольно быстро проявляются по всей высоте здания, и они наиболее опасны для них при воздействии землетрясений даже умеренной интенсивности.

Например, в Улан-Баторе (Монголия), в местах, где уровень грунтовых вод от дневной поверхности залегает на глубине 0,5–1 м, при 5–6-балльном землетрясении (январь 1967 г.) некоторые здания получили степень повреждения, равную $d = 3–4$, при которой возникают глубокие и сквозные трещины в стенах, нарушение связей между частями здания и т. п. Такие повреждения должны были возникнуть лишь при 8-балльном землетрясении. Однако, аналогичные 2-этажные кирпичные жилые дома, построенные в тех же грунтовых условиях, но с уровнем грунтовых вод более 4–5 м – практически не имели повреждений.

Другой пример – морозное пучение грунта. Под зданием промерзание грунта постепенно начинается от фундамента наружных стен к центру здания. Поэтому более сильное пучение грунта происходит именно в углах зданий под наружными стенами, грунт как бы приподнимает фундамент стен. Летом при оттаивании процесс деформации фундамента и стен идет в обратную сторону. При сильном пучении грунта конструкции не выдерживают таких перенапряжений, и в фундаментах и стенах образуются сквозные трещины, часто на всю высоту здания. Таким образом, в результате пучинистых свойств грунтов здание еще до землетрясения может иметь вторую или третью степень повреждения и достаточно сотрясений в 5–6 баллов, чтобы эти поврежденные здания получили степень, как при 8-балльном землетрясении.

Следовательно, чтобы определить фактическое состояние землетрясения на здания и сооружения, необходимо проводить паспортизацию зданий и вести мониторинг за его состоянием до наступления сильных сейсмических событий.

Надо учитывать, что сейсмические события, даже умеренной интенсивности, но многократно повторяющиеся в течение жизненного цикла здания, накладываются на процесс физического износа, снижая прочностные характеристики конструкций и сооружения в целом, что отражается на сейсмической надежности и безопасности здания.

Редакция Шкалы сейсмической интенсивности ГОСТ Р 57546-2017 при установлении класса сейсмостойкости зданий учитывает снижение динамических и прочностных характеристик во времени и вводит поправки [57]:

а) учитывающие *физический износ* конструкций здания:

- за первые 50 лет – минус 0,2;
- за каждые следующие 10 лет – минус 0,1;

б) учитывающие перенесенные зданием землетрясения проектной интенсивности – *сейсмический износ* (даже если никаких заметных повреждений не обнаружено):

- за одно сейсмическое событие – минус 0,2,
- за два сейсмических события – минус 0,5,
- за три сейсмических события – минус 0,9.

Правда, если принять во внимание, что долговечность зданий, например, II-й группы капитальности (куда относятся жилые многоэтажные дома) составляет 120 лет, то в сейсмически опасных районах таких перенесенных зданием слабых и умеренных землетрясений получится несколько десятков, а может быть и сотен. Вот почему так важно периодически проводить мониторинг существующей застройки на урбанизированной территории, в процессе которого фиксировать динамические характеристики сооружений (периоды собственных колебаний, параметры затухания и пр.) и устанавливать класс фактической сейсмостойкости зданий, т. е. проводить паспортизацию зданий.

1.4.3. Планировочная уязвимость зданий и сооружений

Планировочная уязвимость зданий и сооружений в значительной мере отражается на их сейсмостойкости. Например, при увеличении шага поперечных стен и создания больших внутренних помещений, снижается общая масса здания, но возрастают напряжения в конструкциях стен и перекрытиях, и снижается их жесткость. Или, для усиления архитектурной выразительности очертания современных зданий в плане усложняются, что также отрицательно ска-

зывается на их сейсмостойкости. Анализы последствий сильных землетрясений показывают зависимость между повреждаемостью зданий и их конфигурацией в плане. Чем сложнее план здания, тем больше вероятность его повреждения, прежде всего, в местах изменения направлений стен.

Нормы не рекомендуют проектировать здания в плане «L-образной», «Н-образной», «П- и Т-образной», «U- и V-образной», крестообразной и т. п. формы (рис. 24).



Рис. 24. Формы зданий в плане, не рекомендуемые для строительства в сейсмических районах

Наиболее предпочтительными считаются: формы круга, многоугольника, квадрата и похожих очертаний. Такие здания находятся в лучших условиях с точки зрения крутильных колебаний (рис. 25).

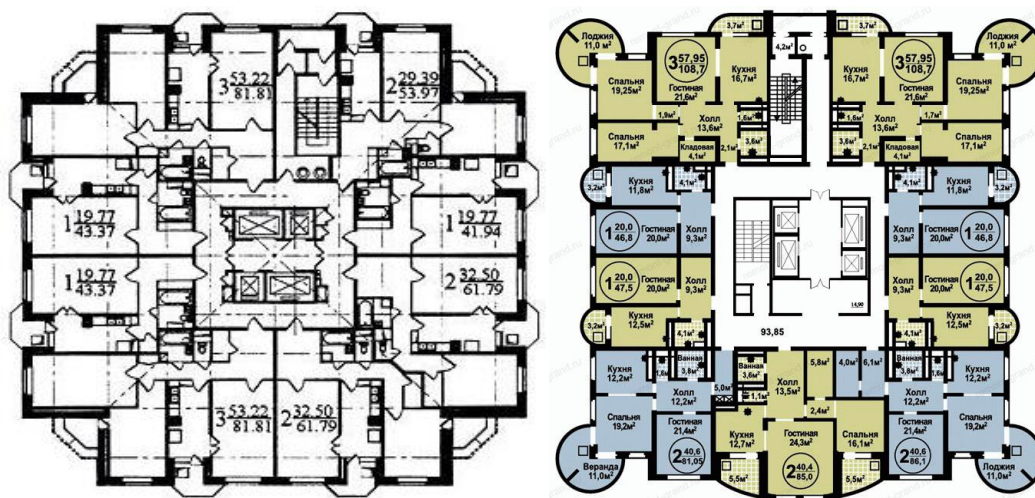


Рис. 25. Рекомендуемые формы сейсмостойких зданий в плане

Внутренние несущие конструкции (стены и ДЖ) необходимо также равномерно и симметрично расставлять относительно продольной и поперечной осей здания, как в плане, так и по этажам здания. Отсюда еще одно требование – материал несущих конструкций должен быть, по возможности, также одинаковым.

Основные принципы проектирования объемно-планировочных решений сейсмостойких зданий.

1. *Простая, симметричная и компактная форма зданий в плане.* Чем сложнее здание в плане, тем больше вероятность его повреждения, прежде всего, в местах изменения направлений стен.

2. *Симметричная и равномерная расстановка внутренних несущих конструкций относительно продольных и поперечных осей здания, как в плане, так и по этажам здания.* Несимметричность расположения конструкций, а, следовательно, жесткостей и нагрузок приведет к возникновению крутильных колебаний и может стать причиной разрушения зданий при землетрясении.

3. *Внутренние стены должны быть, как правило, сквозными на всю ширину или длину здания.* Несквозные поперечные и продольные стены при горизонтальном сейсмическом толчке оказывают таранящее действие и могут разрушить примыкающую к ним стену.

4. *Протяженность (расстояние между антисейсмическими швами) и высота здания (этажность)* назначаются по требованиям норм сейсмостойкого строительства в зависимости от сейсмичности площадки.

5. *Обеспечение симметричного и равномерного распределения масс и жесткостей конструкций* с целью снижения усилий от кручения здания.

6. *Материал несущих конструкций должен быть одинаковым.* Разный материал несущих стен (а, следовательно, и жесткостей) в здании создаст неравномерное распределение сейсмической нагрузки между конструкциями, что приведет к возникновению сложных пространственных форм колебаний.

7. *Снижение массы конструкций и здания. Выбор конструктивной схемы здания.* Снижение сейсмической нагрузки на здание обеспечивается путем уменьшения массы конструкций при применении более легких и эффективных по прочности строительных материалов и выбора конструктивных схем с оптимальной динамической жесткостью и затуханием.

8. *Принятие планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих снижение риска прогрессирующего обрушения сооружения или его частей и повышающих устойчивость и «живучесть» здания при сейсмических воздействиях.*

Реакции зданий на сейсмические воздействия

Силы инерции. Когда у объекта изменяется скорость, т. е. появляется ускорение – возникают силы инерции. Величина сил инерции определяется по закону Ньютона, который заключается в произведении массы объекта на ускорение грунта.

Ускорение грунта – это характеристика землетрясения, которая показывает изменение скорости прохождения волны в грунте во времени. Масса – это характеристика здания. Масса здания, его размеры в плане и конфигурация сами в какой-то степени влияют на характер инерционных сил и на способность несущих конструкций здания воспринять эти силы.

Повреждения зданий при землетрясении происходят не от динамического удара сейсмической волны на здания, а от действия сил инерции, возникающих при колебании массы здания [6]. Значит, если сейсмические силы, созданные колеблющейся массой, являются инерционными, то любое увеличение массы здания приводит к дополнительному росту этих сил. Следовательно, при проектировании сейсмостойких зданий целесообразно применение более легких, но эффективных по прочности строительных материалов, которые приведут к снижению сейсмических сил на здание.

Большая масса здания отрицательно влияет на колонны и стены зданий, которые при разрушении могут потерять устойчивость вследствие продольного изгиба. Одновременное воздействие большой вертикальной нагрузки и горизонтальной сейсмической силы заставляет колонны и стены зданий изгибаться, отклоняясь от вертикальной оси. Создается момент, равный произведению вертикальной силы на величину эксцентриситета, $M = P \cdot e$. Причем, чем больше вертикальная сила, которая действует на элемент, тем больше значение создаваемого момента. Таким образом, под действием усилий от горизонтальных и вертикальных нагрузок колонны и стеновые конструкции теряют свою прочность, а затем, поврежденные и ослабленные, они разрушаются [2, 6].

Период колебаний зданий и резонанс. Период колебаний – это время, за которое совершается одно полное колебание. Период колебаний измеряется в единицах времени.

Если полный цикл колебаний какого-то объекта происходит за 1 сек., это означает, что основной период его собственных колебаний равен 1 сек. (рис. 26).



Рис. 26. График зависимости смещения от времени

Период основного тона колебаний является важнейшей динамической характеристикой любого строительного объекта и определяется:

- инструментальным способом по записям колебаний объекта;
- расчетным методом;
- с помощью эмпирических формул.

Инструментальный метод определения периодов собственных колебаний зданий производится с помощью переносных датчиков, которые регистрируют микродинамические колебания объектов, вызванные естественным динамическим природно-техногенным фоном города.

Предварительное значение периода колебаний зданий можно получить, используя эмпирические формулы, выведенные на основании статистических

данных по среднему периоду собственных колебаний. Ниже приведены некоторые эмпирические зависимости, опубликованные д. т. н. В.А. Котляревским [23]:

$$T = an; \quad T = \beta H; \quad T = \mu C,$$

где a и β – эмпирические коэффициенты, равные $a = 0,08$; $\beta = 0,017$; $C = 0,2$;

n – количество надземных этажей в здании;

H – высота здания в метрах;

μ – отношение высоты здания к его размеру в плане $\mu = H/B$.

Величины преобладающих периодов колебаний грунтов в сейсмических районах играют основную роль при изучении реакции и поведения зданий при землетрясении. Это обусловлено тем, что наибольший уровень сейсмического эффекта произойдет в момент резонансных явлений, т. е. при совпадении или значительном сближении величин периодов колебаний грунта и свободных колебаний зданий и сооружений.

В табл. 23 приведены периоды собственных колебаний некоторых зданий, а в табл. 24 преобладающие периоды колебаний основных типов грунтов:

Таблица 23

Периоды собственных колебаний зданий [53]

Число этажей	Период собственных колебаний зданий T , с		
	Крупнопанельных	Кирпичных и крупноблочных	Каркасных
5	0,18–0,27	0,22–0,35	0,26–0,42
9	0,28–0,44	0,31–0,50	0,46–0,71
12	0,36–0,57	0,39–0,61	0,61–0,93
14	0,41–0,65	0,42–0,69	0,71–1,07
16	0,46–0,74	0,47–0,77	0,81–1,22
18	0,51–0,83	0,53–0,85	0,91–1,37
20	0,56–0,91	0,56–0,93	1,01–1,51
22	0,61–0,95	0,60–1,01	1,11–1,66
24	0,66–1,09	0,64–1,09	1,21–1,81
26	0,71–1,17	0,69–1,17	1,31–1,95
28	0,76–1,26	0,73–1,25	1,41–2,10
30	0,81–1,34	0,78–1,33	1,51–2,24

Таблица 24

Преобладающие периоды колебаний грунтов

Тип грунта	Преобладающий период колебаний T , с
скальные	0,1–0,15
полускальные	0,15–0,2
крупнообломочные	0,2–0,25
песчаные	0,25–0,30
глинистые	0,3–0,4
насыпные обводненные	0,5–0,8

Следует учитывать, что инженерно-гидрогеологические условия территорий очень различны. Даже в пределах одной строительной площадки

встречаются, как правило, различные типы грунтов, мощности слоев, уровни залегания подземных вод и т. д. Все это приводит к тому, что преобладающие периоды колебаний грунтов соседних участков могут отличаться.

Резонанс. При совпадении преобладающего периода колебаний грунта и периода собственных колебаний сооружения величина амплитуды здания резко возрастает – наступает состояние резонанса, сопровождающееся резким увеличением динамических нагрузок.

Из табл. 24 видно, что период собственных колебаний основных грунтов обычно не превышает $T \leq 1$ с, что может совпадать с периодами собственных колебаний зданий. Поэтому существует вероятность того, что при прохождении сейсмических волн здание будет испытывать состояние резонанса или приблизится к нему. Такое состояние называется *квазирезонанс* (частичный резонанс).

Следовательно, при проектировании сейсмостойких зданий необходимо заранее определять степень вероятности резонанса, для чего измеряют периоды собственных колебаний, как строящегося здания, так и грунта в районе строительной площадки. Следует учитывать, что каждой строительной площадке характерны свои значения периодов колебаний в зависимости от типа грунта, мощности его слоев, обводненности и физико-механических характеристик.

В случае высокой вероятности их совпадения требуется изменить величину периода собственных колебаний у здания (периоды колебаний грунта являются постоянными характеристиками и почти не поддаются изменению) одним из следующих способов:

- снижением массы здания;
- изменением высоты этажа, формы здания, сечений конструкций;
- изменением конструктивного типа выбранного здания, иным распределением масс или нагрузок по этажам;
- введением систем сейсмоизоляции или изменением способов сопряжения конструкций и т. д.

Отсюда два полезных правила:

- здания с гибкой конструктивной системой (каркасные), имеющие большие периоды собственных колебаний, следует возводить на плотных малосжимаемых грунтах. Каркасные здания в этом случае будут испытывать меньшее воздействие сейсмических сил;
- здания с жесткой конструктивной системой (панельные, каменные и др.) с относительно небольшими периодами собственных колебаний, но построенные на большой толще рыхлых малопрочных грунтов (с большими преобладающими периодами колебаний), также будут испытывать меньшие воздействия сейсмических сил.

Затухание колебаний. Затухания колебаний в значительной мере влияет на динамические параметры здания и на реакцию самого сооружения при колебаниях. Если в здании в ответ на смещение основания возникает резонанс, при котором резко увеличиваются ускорения, амплитуды колебаний и в целом увеличивается сейсмическое воздействие на здание, то это может привести его к разрушению. Здание старается поглотить энергию пришедших колебаний и возвратиться в исходное положение. Степень затухания колебаний в зданиях зависит от типа соединений конструктивных элементов и от вида несущих конструкций [2, 6].

Критическим считается затухание, при котором отсутствует проявление колебаний. Величина затухания измеряется как процент от критического затухания; коэффициент затухания обычно оставляет 2–15 % от критического.

Примечание. рекомендуется вблизи эпицентров землетрясений, где наблюдаются колебания грунта высокой частоты (с малым периодом колебаний и большой амплитудой сейсмической волны), выполнять строительство зданий с гибкой конструктивной системой (каркасные), имеющих большой период собственных колебаний. По мере отдаления от эпицентра, где частота колебаний и амплитуда заметно снижаются, но возрастает период колебаний, рекомендуется строительство зданий с жесткой конструктивной системой (панельных, каменных, монолитных).

Пластичность. Анализ работы конструкций показывает, что даже при отсутствии резонанса и с учетом затухания колебаний в здании, величины усилий, возникающие в конструкциях при землетрясении, значительно превышают значения, которые в строительных нормах считаются расчетными.

Величина расчетной горизонтальной сейсмической нагрузки, принятой нормами для зон высокой сейсмической активности, составляет 5–20 % от массы зданий, а теоретическое значение расчетного ускорения равно 5–20 % ускорения силы земной тяжести (0,05–0,2) g. Однако фактически во время землетрясения ускорения значительно превышают эти значения. В этих условиях способность зданий работать, как единое целое может быть отнесена к проявлению пластичности [2, 6].

Пластичность – способность материала без разрушения получать большие остаточные деформации. Это свойство некоторых материалов, в том числе стали, проявляется в том, что разрушение наступает только после образования больших неупругих деформаций со значительными остаточными перемещениями. Хрупкие материалы, такие как бетон, при деформациях разрушаются внезапно. Для предотвращения хрупкого разрушения бетон усиливают арматурой, которая при сцеплении с ним придает бетону прочность и вязкость. Такой комплексный материал, как железобетон, в процессе деформирования способен поглощать энергию от внешнего воздействия или колебаний и отодвигать разрушение бетона.

Пластичность и несущая способность материала – свойства, тесно связанные между собой. После достижения предела упругости (далее идет накопление остаточных деформаций) пластичные материалы еще некоторое время (вплоть до разрушения) способны воспринимать внешнюю нагрузку. Эта дополнительная (резервная) несущая способность конструкций, позволяющая сопротивляться перегрузкам, зависит именно от пластичности элементов.

Закручивание. При землетрясении пространственная работа здания проявляется практически всегда. Если здания являются симметричными в плане, то они могут испытывать три вида собственных колебаний:

- поступательные;
- крутильные;
- изгибные.

Причем названия видов колебаний отражают характер перемещений перекрытий в пространстве (рис. 27).

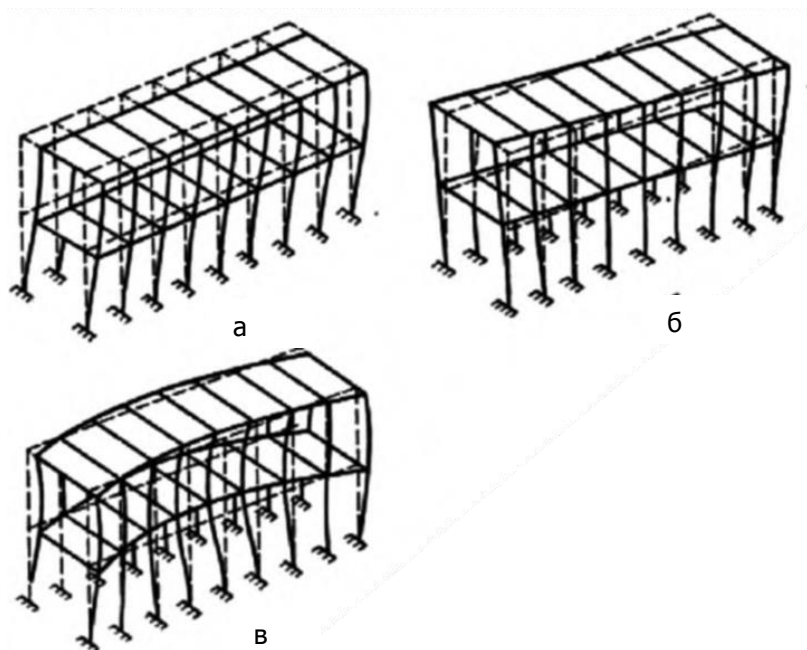


Рис. 27. Перемещение перекрытий здания при колебаниях:
а – поступательные; б – крутильные; в – изгибные

При поступательных колебаниях перекрытия как бы раскачиваются (перемещаются) в своей плоскости, но не деформируются. Вертикальные конструкции здания получают прогибы [6].

При крутильных колебаниях междуэтажные перекрытия совершают вращательные колебания в своей плоскости. Поворачиваясь относительно вертикальной оси, они способны вызывать неравномерные по длине здания распределения внутренних усилий и деформаций вертикальных элементов.

При изгибных колебаниях деформируются не только перекрытия, но изгиб получают и вертикальные конструкции здания.

У несимметричных в плане зданий с несовпадением центра масс и жесткостей колебания носят смешанный характер:

- *крутильно-поступательные*;
- *крутильно-изгибные*;
- *поступательно-изгибные* (рис. 28, а, б).

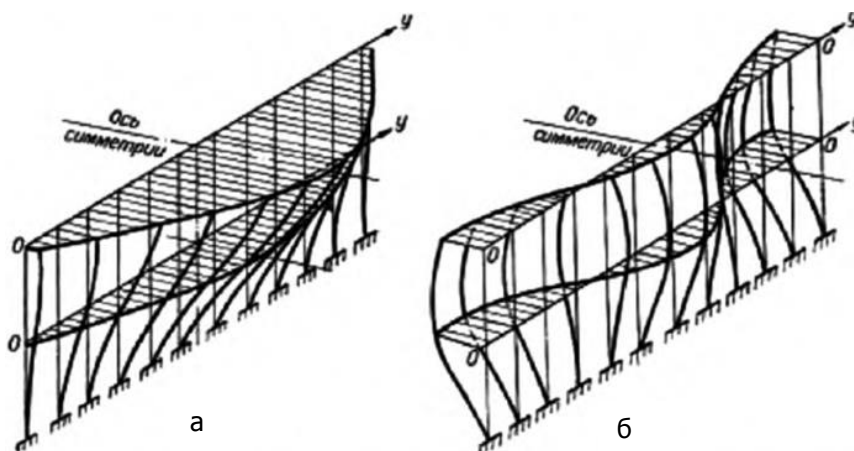


Рис. 28. Пространственные формы поступательно-изгибных колебаний каркасного здания рамно-связевой системы:
а – безузловая; б – узловая

Закручивание – результат внешнего силового воздействия, при котором в перекрытиях возникает крутящий момент (круговое перемещение), перпендикулярный продольной оси элемента. Однако эффект закручивания возможен и в протяженных зданиях длиной более 30 м с простой формой в плане и с симметрично расположенными несущими конструкциями. Это объясняется тем, что под зданиями грунтовое основание не остается постоянным: меняются типы грунтов, мощности и наклоны слоев, их физико-механические характеристики и т. д. При этом, одна часть здания может быть установлена на прочные несжимаемые грунты, а другая – опираться на грунты с более низкими характеристиками. Это приведет к тому, что при прохождении сейсмической волны различные части грунтового основания будут иметь разные динамические характеристики (амплитуды, перемещения, скорости, ускорения, затухания). Следовательно, разные части здания при землетрясении будут испытывать различные динамические воздействия.

Сейсмическая уязвимость территории определяется исходя из экономических и социальных потерь. Иногда в расчет принимают и экологический ущерб территории в результате землетрясения, но его, как правило, относят к косвенным (вторичным) экономическим потерям.

Следует отметить, что значительная доля экономического и социального ущерба на урбанизированной территории связана с уязвимостью зданий, т. е. с уровнем сейсмостойкости или дефицитом сейсмостойкости зданий на момент землетрясения. А социальная уязвимость территории напрямую зависит от степени повреждения зданий и от количества людей, находящихся внутри домов (особенно при ночном сценарии) при сильных землетрясениях.

ГЛАВА 2. ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ Г. ИРКУТСКА

Развитие городской застройки все чаще сталкивается с отсутствием резервов территорий, пригодных под строительство новых жилых комплексов и сложностью упорядочения планировочной структуры существующей застройки. Это приводит либо к разработке участков, которые раньше рассматривались как ограниченно пригодные для застройки, т. к. их освоение связано со строительством на сложном рельефе, либо к структурированию и планировочной организации ранее застроенных территорий. При разработке организационно-планировочных мероприятий для любого из перечисленных вариантов необходимо оценить возможные негативные последствия, как природного, так и техногенного характера.

Дополнительными факторами при разработке градостроительных критериев подхода к проблеме оказываются высокая сейсмическая опасность площадки и региона в целом. Наличие сейсмической уязвимости в градостроительной системе играет важную роль при построении модели, разработке стратегии развития городской инфраструктуры, обеспечении безопасности проживающего населения. В понятие сейсмического риска урбанизированной территории входит большой аспект факторов, главными среди которых являются:

- объемно-планировочная уязвимость территории с учетом рельефа местности, плотности застройки и количества проживающего населения на рассматриваемой территории, в том числе в сейсмически уязвимых зданиях, этажности существующих зданий;
- уровень сейсмической опасности населенного пункта, основанный на изучении инженерно-геологических и сейсмологических условий рассматриваемой территории;
- сейсмостойкость зданий и сооружений существующей застройки, зависящая от конструктивной уязвимости, степени физического и сейсмического износа основных несущих конструкций;
- опасность возникновения вторичных последствий землетрясения – пожаров в зданиях, повреждения подземных и надземных инженерных коммуникаций, завалов на дорогах, нарушения транспортного сообщения, активизации оползней, обвалов, повреждения или разрушения плотины и т. п.

Обеспечение функционирования градостроительной системы при землетрясении основано, прежде всего, на управлении сейсмической уязвимостью как отдельного строительного объекта (здания или сооружения), так и совокупности ряда управляемых факторов. Поэтому, оценивая сейсмический риск городской территории, значительное внимание приходится уделять оценке сейсмостойкости зданий и сооружений, т. к. риск уязвимости населения в зданиях различных типов при землетрясении будет неодинаковым.

2.1. Оценка сейсмической опасности территории г. Иркутска

Сейсмологические условия. Оценку сейсмической опасности территории г. Иркутска проводим в соответствии с картами Общего сейсмического районирования (ОСР-2015).

Территория Иркутской области относится к числу наиболее сейсмически активных районов Российской Федерации, обладает высоким сейсмическим потенциалом, который подтверждается данными о сильных землетрясениях исторического прошлого, многочисленными разрывами (разломами) в земной коре и большим количеством инструментально зафиксированных наблюдений (более 180 тыс. записей) землетрясений различной интенсивности и энергетического класса, произошедших в регионе и на сопредельных к ней территориях – республике Бурятия, Тыве, Монголии (рис. 29).

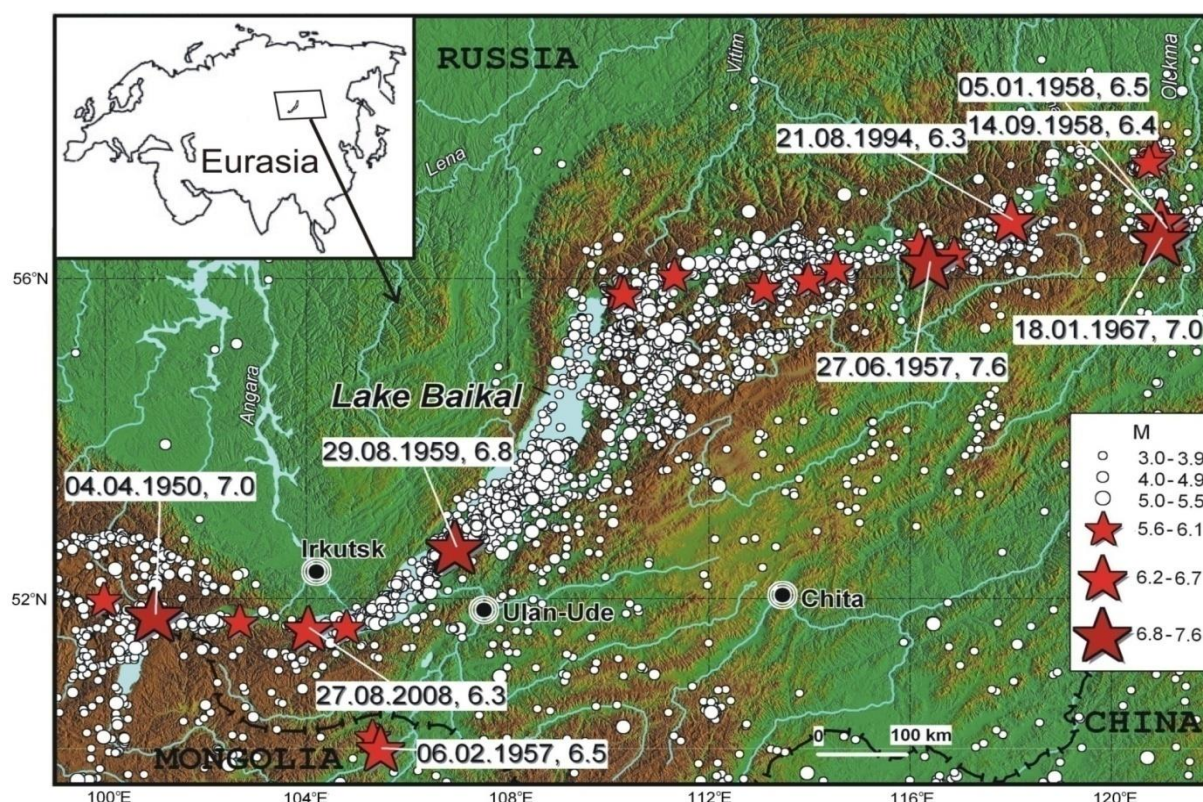


Рис. 29. Карта эпицентров землетрясений в Прибайкалье и Забайкалье за период 1950–2013 гг., $M \geq 3$ [80]

За последние 20 лет по данным иркутских сейсмологов в Прибайкалье и Забайкалье зарегистрированы землетрясения различной силы, что свидетельствует о неослабевающей сейсмической активности всего региона (табл. 25).

Сейсмическую опасность для г. Иркутска представляют как транзитные сотрясения от сильных землетрясений крупных зон ВОЗ (возможных очагов землетрясений), так и сейсмоактивные разломы, расположенные в относительной близости от города (рис. 30). Наиболее активные из них:

- Главный Саянский разлом с возможной магнитудой землетрясений $M_{8,0}$;
- Тункинский с $M_{7,5}$;
- Обручева с $M_{7,5}$;
- Приморский с $M_{7,5}$;
- Черского с $M_{7,0}$.

Глубина эпицентров в этих разломах, по оценкам сейсмологов, составляет 15–20 км.

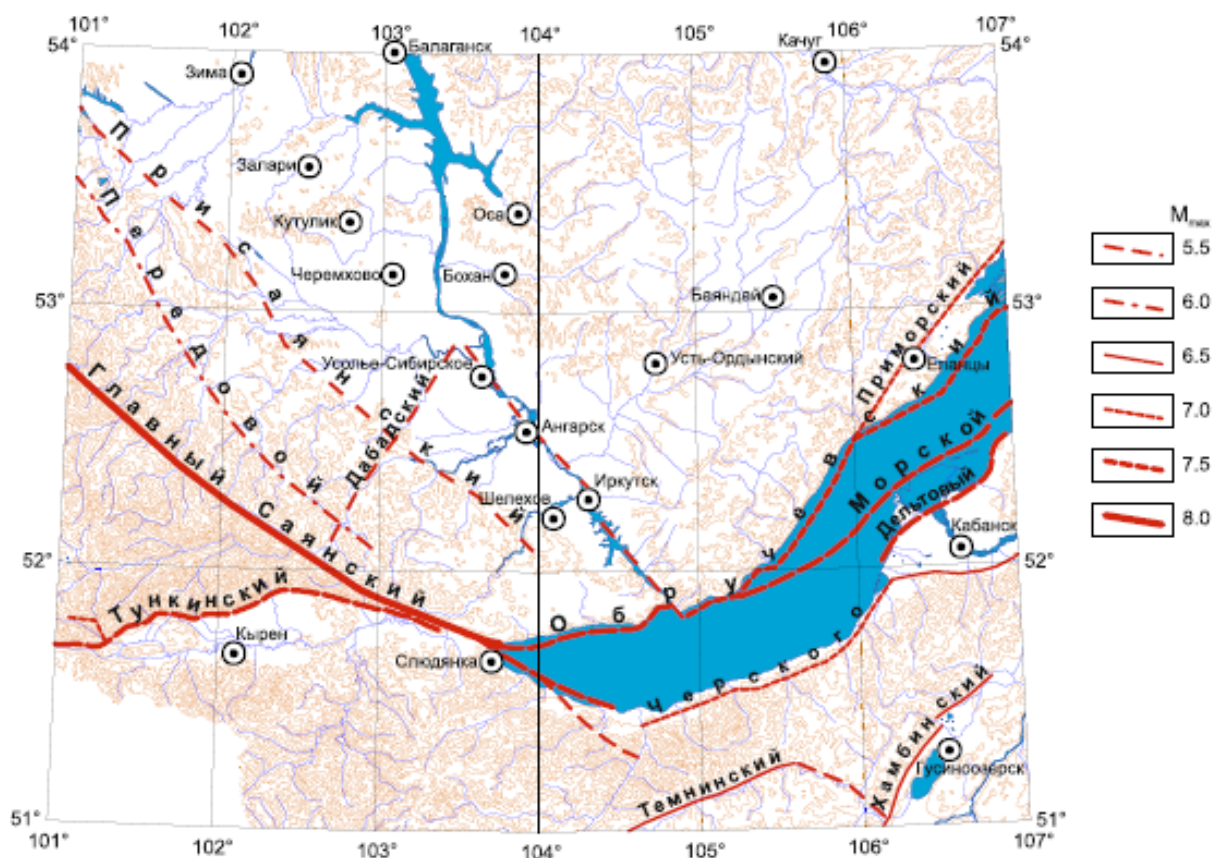


Рис. 30. Карта-схема активных разломов, составляющих сейсмическую опасность для г. Иркутска [19]

Таблица 25

Средний период повторения ощутимых землетрясений для г. Иркутска по данным за период 1725–2018 гг.

Интенсивность землетрясений в баллах	2	3	4	5	6	7	8
Период повторения, год	0,25	0,6	3	10	25	42	150

Сейсмическая опасность г. Иркутска по картам ОСП-2015. Карты Общего сейсмического районирования РФ (ОСП-2015) представляют собой комплект из трех карт – ОСП-2015 (А, В, С), каждая из которых отражает расчетную интенсивность сейсмических событий в баллах сейсмической шкалы, возможную на данной территории с заданной вероятностью. Карты позволяют оценить степень сейсмической опасности для строительных объектов разной категории ответственности.

Карта ОСП-2015-А отражает 10%-ную вероятность возникновения сотрясений, интенсивность которых превысит значения балла, указанного на карте для данной зоны, в течение 50 лет. Это соответствует повторяемости сейсмического события 1 раз в 500 лет.

Карта ОСР-2015-В отражает 5%-ную вероятность возникновения превышения указанного на карте балла, что соответствует повторяемости сейсмического события 1 раз в 1000 лет.

Карта ОСР-2015-С отражает 1%-ную вероятность возникновения превышения указанного на карте балла, что соответствует повторяемости сейсмического события 1 раз в 5000 лет.

Для территории г. Иркутска картой ОСР-2015 (на грунтах II категории) установлены следующие оценки исходной сейсмической опасности: 8 и 9 баллов. Таким образом, карты показывают среднюю обобщенную повторяемость землетрясений для г. Иркутска.

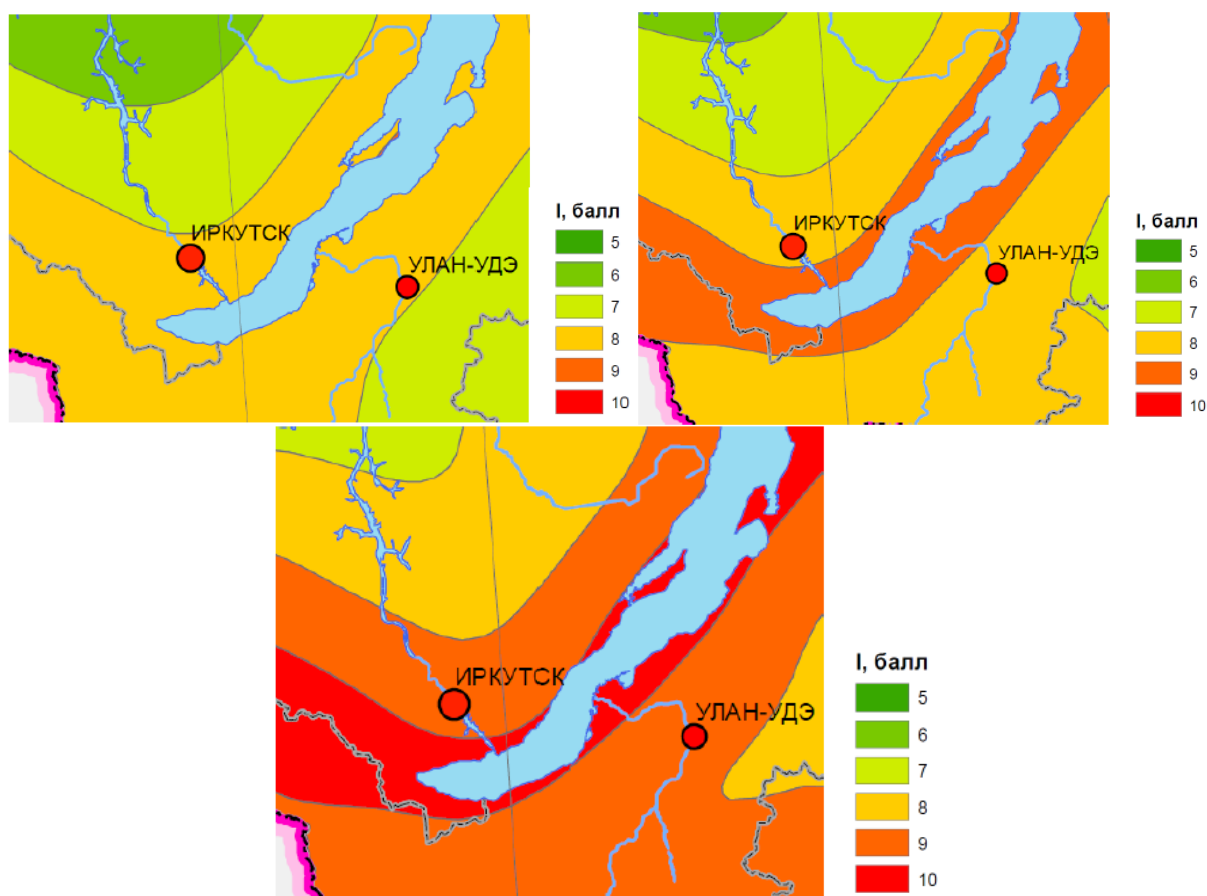


Рис. 31. Фрагменты карт ОСР-2015 А, В и С (слева направо) для Прибайкалья [32]

Фрагменты карт ОСР-2015 для Прибайкалья приведены на рис. 31.

2.2. Общий градостроительный анализ исследуемой территории с позиций сейсмического риска

Формирование структуры застройки. Структура застройки территории, расположенной в одном из центральных округов г. Иркутска, очень неоднородная. Вначале при освоении участков велась застройка традиционными деревянными одноэтажными жилыми домами, которые в середине XX века интенсивно стали заменяться каменными и панельными зданиями. Все типовые серии жилых домов, которые применялись в г. Иркутске в советский период, нашли отражение и на данной территории:

- многоэтажные каркасные;
- крупнопанельные,
- кирпичные,
- монолитные здания.

За последние 20 лет произошло резкое изменение в застройке, т. к. началось интенсивное ее освоение современными зданиями с этажностью от 1–2-х этажей (у жилых, как правило, частных индивидуальных домов) до 16–18-этажных зданий каркасно-монолитной конструкции (рис. 32).



Рис. 32. Структура застройки исследуемой территории (см. также на с. 81, 82)



Рис. 32. Продолжение (начало см. на с. 80)



Рис. 32. Окончание (начало на с. 80)

В процессе работы при оценке сейсмической уязвимости вся исследуемая территория была условно разделена на пять участков (рис. 33). Критерии, по которым территория относилась к одному из них, были следующими [5]:

- одинаковые или похожие инженерно-геологические условия;
- однотипность зданий и время их постройки;
- этажность застройки;
- плотность населения.

Подобное деление территории способствовало более точному определению разных компонентов риска, в том числе степени повреждений застройки разных конструктивных типа и классов сейсмостойкости. Кратко приведем перечень территорий, относящихся к каждому участку.

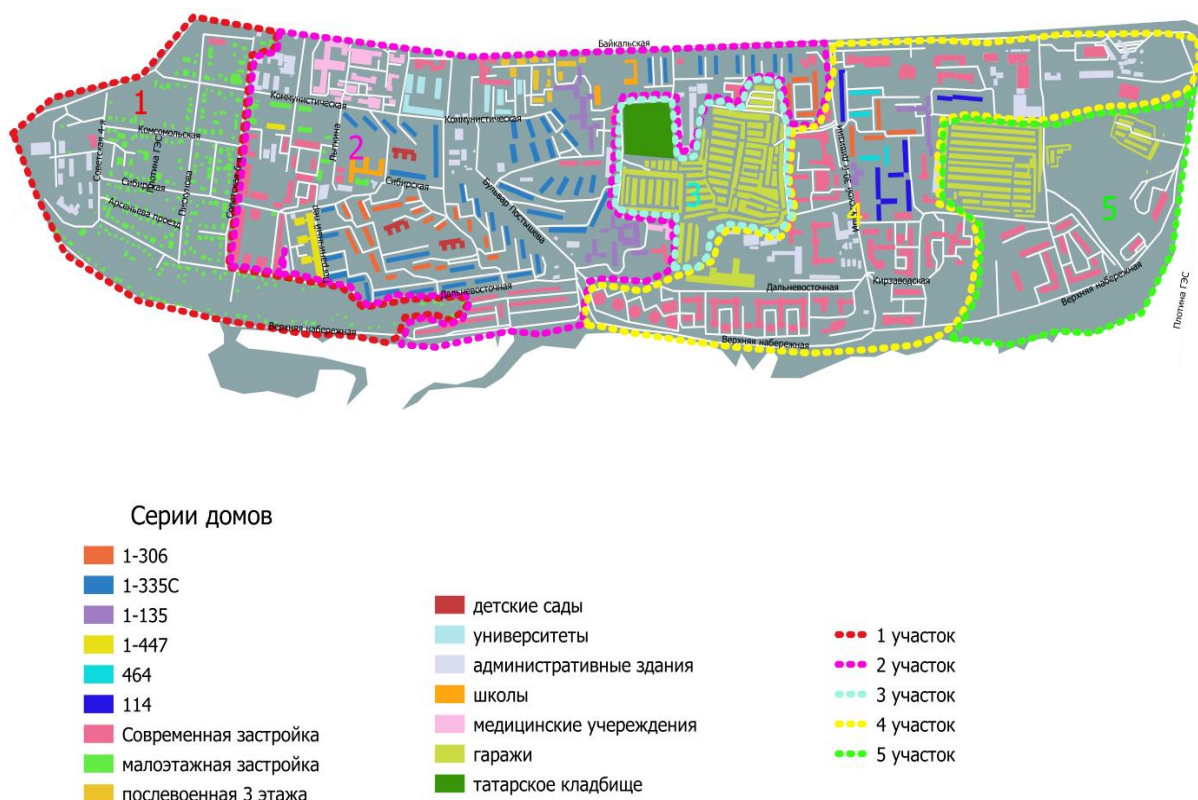


Рис. 33. Границы участков исследуемой территории

1-й участок. Территория, ограниченная улицами Красных Мадьяр – 6-я Советская – Байкальская – Верхняя набережная.

2-й участок. Самый большой и довольно протяженный участок, территория которого, ограничена улицами 6-я Советская – Цимлянская – Байкальская – Верхняя набережная, а также часть территории вдоль ул. Байкальская до ул. 30-й Иркутской Дивизии.

3-й участок. Большая часть участка занята гаражным кооперативом и территорией татарского кладбища. Поэтому участок № 3 был исключен из дальнейшего исследования, т. к. сейсмическая уязвимость населения и гаражных строений на нем минимальная.

4-й участок. Это территория, на которой основными строениями являются современные здания. Территориально участок прилегает к ул. 30-й Иркутской Дивизии и занимает площадь между первым и вторым гаражными кооперативами, от ул. Байкальская до ул. Верхняя Набережная. Кроме этого, в 4-й участок вошли также две застроенных территории – вдоль ул. Верхняя Набережная и вдоль ул. Байкальская.

5-й участок. Вытянутая, протяженная территория от 2-го гаражного кооператива до и вдоль плотины ГЭС в пределах ул. Байкальская – Верхняя Набережная. Часть территории занимает гаражный кооператив, хотя его площадь значительно меньше первого, кроме того на участке остались еще незастроенные территории.

Рельеф местности. В пределах границ исследуемая территория имеет довольно сложный рельеф местности. Практически на всей ее протяженности имеется тенденция уклона в двух направлениях – первый общий уклон в сторо-

ну русла реки Ангара с различной величиной склона, заканчивающийся, как правило, резким откосом или обрывом (рис. 34, 35, 36); второй уклон направлен от высоких отметок в районе ул. Волжской на понижение в обе стороны к границам территории – к ул. Красных Магдьяр и в сторону плотины ГЭС.



Рис. 34. Общий вид крутизны склона на 1-м участке

Степень крутизны спуска от верхних отметок в сторону Ангара, на 1-м и 2-м участках нарастает, особенно с приближением к руслу реки. Крутизна склона резко увеличивается и на расстоянии 50–70 м от берега достигает уклона более 15°. Прибрежная территория в районе 4-го и 5-го участков имеет относительно пологий спуск к Ангаре.

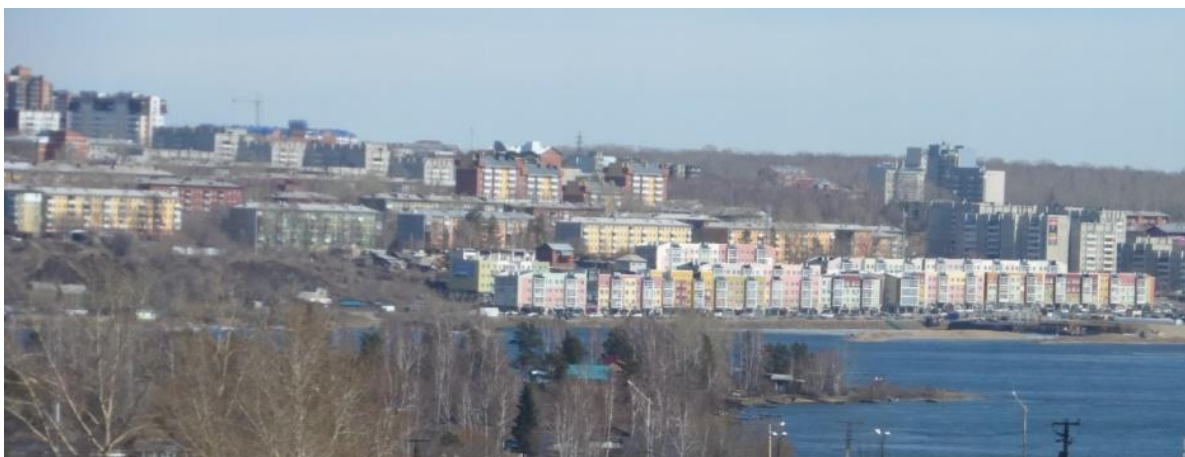


Рис. 35. Уклон территории в сторону р. Ангара на 4-м участке



Рис. 36. Рельеф местности в зоне Верхней Набережной (4-й участок)

Высота существующей застройки. Предельная высота для зданий различных конструктивных систем устанавливается требованиями норм по строительству в сейсмических районах [63]. Например:

- при сейсмичности площадки 8-баллов – предельная высота крупнопанельных зданий не более 14 этажей;
- на 9-балльной площадке – этажность должна быть не выше 12 этажей.

На всех 5-и участках территории высота крупнопанельных зданий не превышает 9-и этажей, т. е. требования норм обеспечены.

Высота зданий с несущими каменными стенами комплексной конструкции при 2-й категории кладки не должна превышать 4 этажа. Однако фактически жилые дома серии 114 с выполнены в 4–5-этажном вариантах.

Предельная высота для современных зданий с железобетонным каркасом и внутренними диафрагмами жесткости на площадках 8 и 9 баллов – 12 и 9 этажей соответственно, но если стены здания выполнены из монолитного железобетона, то нормы допускают высоту до 20-и и 16-и этажей соответственно.

К сожалению, не всегда можно с уверенностью говорить о качестве строительства и фактической сейсмостойкости современных зданий, поэтому будем считать здания, отвечающими нормам сейсмостойкого строительства.

Предельная высота жилых домов серии 1.120 с, выполненных в конструкциях безригельного каркаса с внутренними диафрагмами жесткости при строительстве их на площадке 9 баллов составляет 9 этажей, что отвечает требованиям норм.

Плотность населения. Расчетная плотность населения в сейсмических районах принимается в соответствии с региональными (территориальными) строительными нормами, согласно которым расчетная плотность населения не должна превышать 300 чел/га.

Наличие зон безопасности на участках. Площадь озеленения жилой зоны квартальной (микрорайонной) многоквартирной застройки должна составлять не менее 25 % площади территории квартала [63]. Такие площадки, помимо создания экологического микроклимата квартальной застройки, выполняют функцию «зон безопасности» в случае землетрясения.

Размещение зеленых зон безопасности должно быть в «быстрой доступности» – не более 5 минут от жилой застройки, тем не менее, они должны быть расположены так, чтобы в случае частичного разрушения здания разлет обломков от строений не достигал этих зон. Функционально в «зонах безопасности» можно устраивать открытые спортивные площадки, парки, сады, скверы.

В районах, подверженных воздействию опасных природно-техногенных катастроф зонирование территорий должно предусматриваться на стадии планировки жилых районов с целью снижения степени риска населения и обеспечения устойчивого развития территории.

К сожалению, наличие территорий, которые выполняли бы функции «зон безопасности» нет ни на одном из пяти исследуемых участков. Но в связи с тем, что на участке № 1 значительную долю представляет малоэтажная застройка, с имеющимися вокруг приусадебными участками, а на участке № 5 имеются незастроенные территории – эти участки условно можно назвать имеющими открытые территории в случае экстренной эвакуации населения.

На участках № 2 и № 4 плотность застройки (в том числе наличие точечной) очень высокая, поэтому устройство «зон безопасности» возможно только при освобождении занятых площадей, например, при устройстве многоуровневых гаражей вместо протяженных гаражных кооперативов.

2.3. Оценка уровня природной опасности на территории

Сейсмическое микрорайонирование. Карты сейсмического микрорайонирования (СМР) позволяют уточнить данные карт Общего сейсмического районирования (ОСР) и определить степень сейсмической опасности конкретных терри-

торий с учетом локальных грунтовых условий – параметров колебаний грунта, проявление возможных неупругих (остаточных) *деформаций* грунтов.

В результате сейсмического микрорайонирования уточняется балльность конкретной площадки, которая может отличаться от исходной величины на картах ОСР в зависимости от местных инженерно-гидрогеологических условий. Причем, величина приращения балла существенно зависит от обводнённости грунтового основания, литологического состава и физико-механических характеристик грунтов конкретного участка. Работы по сейсмическому микрорайонированию проводят на основании карт ОСР при освоении и застройке новых территорий в районах с сейсмичностью 7–9 баллов.

Согласно карте СМР, выполненной для г. Иркутска ВостСибТИСИЗом в 1988 г., на основании данных инженерно-геологических изысканий и инструментальных методов о состоянии грунтов, мощности рыхлых отложений, основных динамических параметров грунтов, скорости распространения в них сейсмических волн, уровня микросейсм в пределах исследуемой территории установлены оценки расчетной сейсмичности (балльности) различных участков при землетрясении. Практически вся прибрежная зона, примыкающая к руслу реки Ангара, является сейсмически опасной 9-балльной территорией (рис. 37).

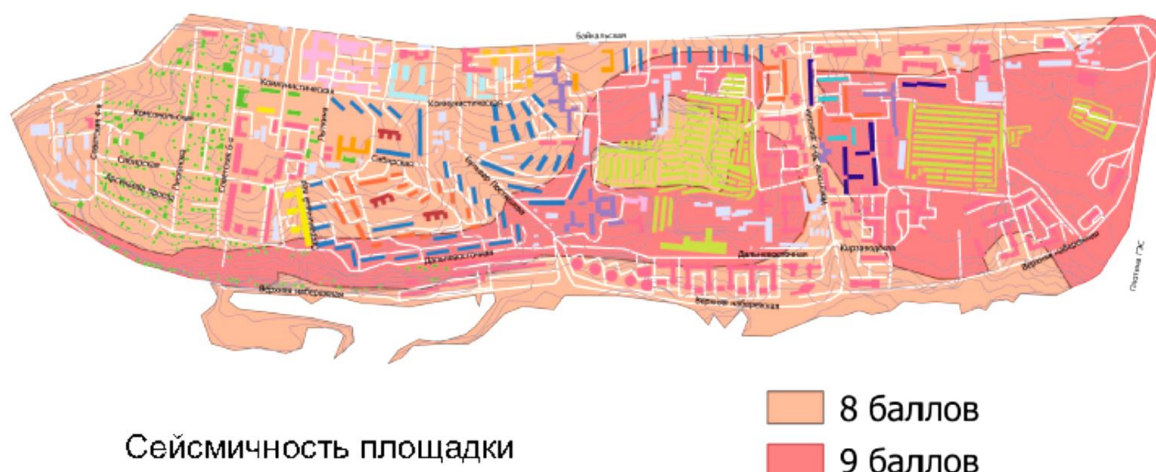


Рис. 37. Карта-схема сейсмического микрорайонирования территории

Глубина распространения 9-балльной зоны на сушу различна и составляет:

- на участках № 1–2 – от 100 до 300 м;
- на участках № 4–5 – глубина 9-балльных участков сильно увеличивается, и в районе плотины ГЭС они занимают практически всю ширину исследуемой территории. Однако внутри этой территории встречаются относительно небольшие 8-балльные участки.

Отсюда возможные приращения сейсмической балльности на 9-балльных территориях могут составить:

- на участках № 1–2 – 0,1–0,5 балла;
- на участках № 4–5 – до 0,6 балла.

Инженерно-геологические и гидрологические условия. В геологическом строении территория г. Иркутска сложена различными грунтовыми комплексами. В пределах изучаемой территории доминирующее положение занимают аллювиальные отложения, они распространены вдоль террас рек Ангары, Иркуты, Ушаковки и их притоков. Мощность отложений составляет до 20–30 м.

Непостоянство тектонического режима и действие колебаний коры при сейсмических событиях способствовали чередованию накоплений и размыва аллювиальных отложений. Поэтому, сформированные непосредственно в русле рек, аллювиальные отложения сохранились либо частично, либо на некоторых участках отсутствуют совсем [32]. В пониженных заболоченных участках пойм рек Ангары, Иркута, Ушаковки и Каи сформировались биогенные отложения, в основном в виде торфа, но иногда подстилаются илами. Мощность биогенных отложений изменяется от 0,2 до 4,5 м.

Техногенные отложения широко распространены и в застроенной части исследуемой территории. Мощность их слоев изменяется в широких пределах от 0,5 до 12–15 м. По характеру сложения насыпные грунты – это беспорядочно отсыпанные отвалы или свалки из строительных, бытовых и производственных отходов. По давности отсыпки насыпные грунты относятся к слежавшимся и неслежавшимся.

Большая часть исследуемой 8-балльной территории – суглинки в полутвердом и пластическом состоянии с общей мощностью слоев более 12 м, с отдельными вклинивающимися участками галечникового грунта с песчаным заполнителем. Зоны 9-балльных участков практически все представлены суглинками в полутвердом и пластическом состоянии с общей переменной мощностью слоев менее или более 12 м.

Гидрологические условия. По характеру рельефа город и его окрестности – это полого-холмистая местность, сильно расчлененная сетью рек: Ангарой, Иркутом, Ушаковкой и их притоками на ряд водораздельных территорий. Долины рек и пади на территории города – это довольно протяженные участки, постоянно переходящие в склоны различной крутизны.

Подземные воды на всей территории г. Иркутска широко развиты и занимают почти 60 % всей площади. Среди них наиболее распространены грунтовые воды, гидравлически связанные с рекой. Воды, как правило, безнапорные, глубина залегания уровня зависит от рельефа поверхности и изменяется от 1,5–15 м, составляя в среднем 8–12 м, но в районе плотины ГЭС водоносный горизонт является напорным [32].

Питание водоносного горизонта происходит путем инфильтрации атмосферных осадков и взаимодействия с поверхностными водами Иркутского водохранилища на прилегающей территории. Такая связь водоносного горизонта с реками характерна для всей территории города и его окрестностей. В целом режим подземных вод подчиняется закономерным циклам многолетних колебаний водоносного горизонта, но он может сильно изменяться в связи:

- с возрастающей нагрузкой на основание при застройке больших жилых массивов;
- с утечкой из водопроводящих коммуникаций;
- с нарушением испарения воды вследствие асфальтирования больших территорий и т. п.

Искусственное наполнение водохранилища Иркутской ГЭС вызвало резкое изменение гидрогеологических условий практически всей центральной территории г. Иркутска и кардинальным образом изменило гидросистему рассматриваемой территории – значительно повысился уровень подземных вод, что проявилось в подтоплении береговой зоны вдоль русла рек, образовались многочисленные мочажины и роднички. Максимальное дополнительное повышение уровня подземных вод вблизи плотины ГЭС составило 0,8–1,0 м, на удаленных

участках от плотины эти величины составили порядка 0,4–0,5 м. Исключение относится лишь к участкам пониженного рельефа на территории участка № 2, где проявилась заболоченность и просачивание грунтовых вод на поверхность. При значительном водонасыщении аллювиальных галечников нижних террас, содержащие в них воды стали напорными.

Примечание: мочажина – низкое сырое место или размытая непроезжая часть дороги; зыбкое место, трясина. Встречается по всей области на заболоченных участках.

2.4. Оценка конструктивной уязвимости существующей застройки

1-й участок

Большая часть территории участка № 1 занята низкоплотной неблагоустроенной жилой застройкой – это старые одноэтажные деревянные жилые дома, в основном имеющие высокий уровень физического износа. Почти вся прибрежная зона (участки № 1 и № 2), застроена аналогичными зданиями, а также малоэтажными кирпичными домами. Техническое состояние, срок эксплуатации и степень физического износа этой застройки различное (рис. 38).

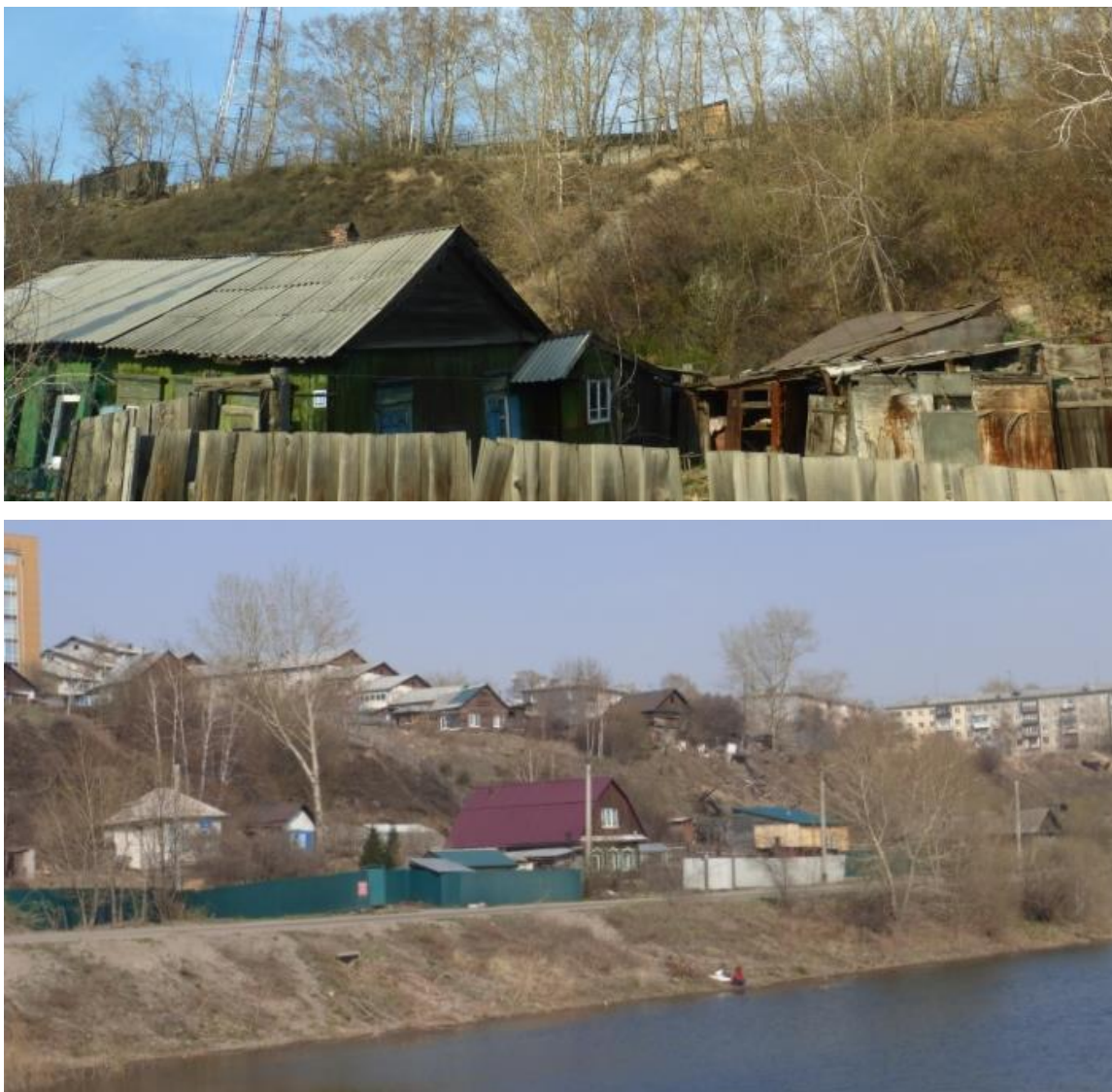


Рис. 38. Общий вид малоэтажной застройки в прибрежной зоне участка № 1

Сейсмостойкость старой застройки, построенной на площадках 8 и 9 баллов, можно оценить на уровне – **6–7 баллов**.

Дефицит сейсмостойкости малоэтажных деревянных и кирпичных жилых домов с учетом их физического износа составляет до **3-х баллов** по сейсмической шкале ММСК-86. Такая застройка при расчетном землетрясении (8 баллов) может получить разную степень повреждения, вплоть до максимальной.

2-й участок

Территория 2-го участка застраивалась в советский период наиболее активно. Здесь возводились жилые дома, в основном, по типовым проектам.

Ниже приведены краткие характеристики конструктивных решений основных серий жилых домов, возведенных на этом участке.

Жилые 5-этажные дома серии 114с

Строительство жилыми домами этой серии велось в Иркутске в период с 1972 по 1990 гг. 5-этажные жилые дома серии 114с – это типичные здания для городской застройки того периода (рис. 39). Однако в конструкциях этой серии встречаются и построенные общежития на 380 мест. Здания имеют простую прямоугольную форму в плане, что отвечает требованиям сейсмических норм. Конструктивная схема зданий – стеновая, с поперечными и продольными несущими стенами, которые совместно с железобетонными перекрытиями образуют пространственную систему, обеспечивающую сейсмостойкость зданий и воспринимающую все нагрузки. В наружных и внутренних кирпичных стенах устроены вертикальные железобетонные включения (сердечники), создающие эффект комплексной конструкции. В уровне перекрытий и покрытий по всем продольным и поперечным стенами устроены антисейсмические пояса-обвязки из монолитного железобетона.

Модификация серии 114с была выполнена институтом «Иркутскгражданпроект» в 1980 г., в результате которой на фасаде жилых домов вместо небольших 3-метровых балконов появились более просторные лоджии протяженностью 6 метров.



Рис. 39. Общий вид жилого дома модифицированной серии 114с

Таким образом, жилые дома серии 114с запроектированы и построены с учетом требований норм сейсмостойкого строительства, действовавших в период их проектирования. С учетом износа основных конструкций сейсмостойкость жилых домов серии можно оценить на уровне:

– серии 114с (40–47 лет эксплуатации, процент износа порядка 40 %) – **7 баллов**;

– серии 114с модифицированная (30–40 лет эксплуатации, процент износа около 30 %) – **7,5 баллов** по сейсмической шкале ММСК-86.

Дефицит сейсмостойкости жилых домов на площадке сейсмичностью 8 баллов с учетом их физического износа составляет до **1 балла**.

Жилые дома серии 1-335с

Застройка жилыми домами серии 1-335с велась в Иркутске в период с 1960 по 1970 гг. В последующем серия была модифицирована и переработана в серии 1-335АС и 1-335 КС. С конца 1970-х годов застройка домами этой серии не осуществляется.

Строительство домов начиналось в 5-этажном варианте на площадках сейсмичностью 7 баллов, но после землетрясения 1966 г. в Ташкенте было принято решение о внесении в проект изменений и повышения сейсмостойкости зданий до 8 баллов, при этом высота домов была понижена до 4-х этажей. На рассматриваемом участке встречаются дома высотой 5 этажей и дома, а также здания модернизированного проекта высотой 4 этажа (рис. 40, 41).

Конструктивная схема жилых домов серии 1-335с – неполный каркас (внутренний каркас и наружные несущие стены). Внутренний каркас – это одиночные железобетонные колонны, установленные по средней продольной оси здания и уложенные на них одним концом железобетонные прогоны в поперечном направлении. Другой конец прогона опирается на несущие наружные стены из легкого бетона. В местах, где отсутствуют колонны, опорами служат железобетонные стены лестничных клеток, дымовентиляционные панели, железобетонные межсекционные стены, торцевые и продольные наружные стены. Плиты перекрытий, опирающиеся на прогоны или перечисленные выше несущие вертикальные конструкции, имеют небольшую толщину (80–110 мм) и, следовательно, недостаточную жесткость при работе на горизонтальные нагрузки.



Рис. 40. Общий вид общежития, построенного в конструкциях серии 335с. Участок № 2



Рис. 41. Общий вид застройки жилыми домами серии 1-335с на участке № 2

Сейсмостойкость жилого дома в продольном и поперечном направлениях различна и обеспечивается разными конструктивными элементами. В продольном направлении только за счет наружных стен из легкого бетона, сильно

ослабленных оконными проемами и панелями в лестничной клетке из железобетона. В поперечном направлении – наружными торцевыми легкобетонными стенами, дымовентиляционными панелями, межсекционными стенами и поперечными стенами лестничных клеток.

С учетом длительного срока эксплуатации жилых домов (40–59 лет) и значительного физического износа несущих наружных стен из легкого бетона ($\geq 50\%$) сейсмостойкость зданий этой серии не превышает значений **6–6,5 баллов** по сейсмической шкале ММСК-86.

Дефицит сейсмостойкости жилых домов серии на площадке сейсмичностью 8 баллов с учетом их значительного физического износа составляет до **1,5–2 балла** по сейсмической шкале ММСК-86. Это самый уязвимый конструктивный тип многоэтажных зданий на рассматриваемой территории.

Жилые 5- и 9-этажные дома серии 135с

Застройка 5- и 9-этажными жилыми домами серии 135с велась в Иркутске в период с 1978 по 1990 гг. Жилые дома этой серии – это унифицированные блок-секции, в состав которых входят торцевые и рядовые элементы блокировки (рис. 42). Планировочные решения квартир унифицированы для 5- и 9-этажных домов. В конструкциях серии построены также общежития для семейной молодежи.

Сейсмостойкость жилых домов обеспечивается совместной пространственной работой двух внутренних продольных железобетонных стен, часто расположенных несущих поперечных стен, плит перекрытий и самонесущих наружных стен из легкого бетона.

Сейсмостойкость 5- и 9-этажных жилых домов серии 135с после 30–40 лет эксплуатации, перенесенных за это время землетрясений различной интенсивности, и физического износа 25–30 % оценивается на уровне **7,5–8 баллов** по сейсмической шкале ММСК-86.



Рис. 42. Общий вид 9-этажных жилых домов серии 135с

Дефицит сейсмостойкости жилых домов серии 135с на площадке сейсмичностью 8 баллов с учетом их физического износа составляет менее **1-го балла** по сейсмической шкале.

Кирпичные 4- и 5-этажные жилые дома серии 1-306с

Строительство жилых домов этой серии началась с 1964 года. Существует несколько вариантов типовой серии 1-306с, разработанных для строительства жилых домов и общежитий в районах с сейсмичностью 7 и 8 баллов, отличающихся между собой планировочными и конструктивными решениями.

Конструктивная схема жилых домов серии 1-306с – стеновая, состоящая из несущих продольных и поперечных кирпичных стен, объединенных в пространственную систему единым жестким диском из сборных многопустотных перекрытий (рис. 43). В продольном направлении кроме наружных стен предусмотрена внутренняя продольная несущая стена; в поперечном направлении стены установлены с шагом 8 м. Все несущие стены усилены комплексными конструкциями в виде монолитных железобетонных стоек, обрамляющих проемы наружных стен и простенки внутренних стен, соединенные в уровне этажа с железобетонными антисейсмическими поясами. Здания опираются на ленточный фундамент, железобетонные блоки которого одновременно являются стенами подвала; поверху также устроен монолитный железобетонный пояс.



Рис. 43. Общий вид зданий серии 1-306с в 4- и 5-этажном вариантах

Таким образом, вертикальные и горизонтальные, в том числе сейсмические нагрузки, воспринимаются всеми несущими конструкциями – наружными и внутренними стенами зданий.

Первоначально жилые дома по типовой серии 1-306с возводились высотой в 4 этажа и отличались отсутствием регулярных монолитных сердечников и наличием деревянных перегородок.

Дефицит сейсмостойкости 5-этажных жилых домов на площадке сейсмичностью 8 баллов с учетом их физического износа составляет до **1-го балла** по сейсмической шкале MMSK-86.

4-й и 5-й участки

Участки 4 и 5 застраиваются современными жилыми домами повышенной этажности, выполненными по индивидуальным проектам.

Монолитные 16-этажные жилые дома

Строительство 16-этажных жилых домов на ул. Верхней Набережной проводилось по индивидуальному проекту и было закончено в 2012 г. Площадка

строительства по карте сейсмомикрорайонирования оценивается в 9 баллов с высоким уровнем стояния подземных вод.

Сейсмостойкость жилых домов обеспечивается совместной пространственной работой железобетонного каркаса, внутренних железобетонных стен, перекрытий и внутреннего несущего слоя многослойных наружных стен. В уровне перекрытий каждого этажа по периметру устроен горизонтальный антисейсмический пояс из железобетона.

Сейсмостойкость 16-этажных жилых домов, построенных по индивидуальным проектам, оценивается на уровне **9 баллов**, что соответствует требованиям сейсмостойкого строительства (рис. 44).



Рис. 44. Жилые 16-этажные дома на прибрежной территории

4-этажные жилые блокированные дома со встроенными помещениями общественного назначения в первом этаже

Строительство на Верхней Набережной блокированных 4-этажных жилых домов со встроенными помещениями общественного назначения в первом этаже проводилось по индивидуальным проектам и было закончено в 2012 г. Площадка строительства под эти жилые дома согласно карте микросейсмического районирования оценивается в 9 баллов.

Конструктивная схема 2–4-го жилых этажей зданий – железобетонный каркас с заполнением из легкогобетонных блоков. По наружному контуру стеновые легкобетонные блоки защищены от атмосферных воздействий облицовочными листами. Конструкции нижнего первого этажа, в которых размещены помещения, в основном торгово-развлекательного назначения, выполнены из монолитного железобетона (рис. 45).



Рис. 45. Общий вид блокированных 4-этажных жилых домов со встроенными помещениями общественного назначения в первом этаже:
а – главный фасад; б – дворовый фасад зданий

Следует учитывать, что проемность продольных наружных стен из монолита в первом этаже очень высокая, а высота помещений первого этажа превышает высоту верхних типовых этажей, поэтому по конструктивной схеме данные жилые дома можно было бы отнести к зданиям с нижним «гибким» этажом. Однако, из-за того, что площадка, на которой установлены 4-этажные жилые дома, имеет сложный рельеф, со значительным уклоном в сторону главного фасада, «гибкий» этаж больше всего проявляется только по главной фасадной оси жилых домов и частично по средней внутренней оси зданий.

Первый этаж дворового фасада считается вторым этажом со стороны главного фасада. Таким образом, 4-этажные жилые дома в полной мере нельзя считать зданиями с первым «гибким» этажом.

Жилые дома имеют ленточный фундамент.

Сейсмостойкость блокированных 4-этажных жилых домов, построенных по индивидуальным проектам, оценивается на уровне **9 баллов** по сейсмической шкале ММСК-86, что соответствует требованиям сейсмостойкого строительства.

Жилые дома серии 1.120с

Группа 9-этажных жилых домов серии 1.120с возведены в районе Нижняя Лисиха в 2008 году. Здания построены в конструкциях безригельного каркаса с

предварительным напряжением высокопрочной арматуры при монтаже. Конструктивно-планировочная ячейка 4,2×4,2 м перекрывается железобетонными ребристыми плитами перекрытий (рис. 46). Характерной особенностью серии является то, что по всем осям здания в уровне перекрытий проложены высокопрочные канаты в ортогональных направлениях, которые при соответствующем натяжении образуют единую пространственную систему из вертикальных и горизонтальных конструкций. Наружные стены кирпичные многослойные, с заполнением пеноизола в качестве утеплителя.

Сейсмостойкость жилых домов серии 1.120с – **8 баллов**. Следовательно, дефицит сейсмостойкости этих зданий на площадке сейсмичностью 9 баллов составляет **1 балл**.



Рис. 46. Общий вид жилого дома серии 1.120с:

а – жилая блок-секция; б – блок-секция в процессе строительства. Фото ИЗК СО РАН, 2008 г.

Жилые дома по индивидуальным проектам, построенные после 2000-го года

Как правило, все эти многоэтажные жилые дома построены по индивидуальным проектам. Конструктивная схема домов, возведенных после 2000-го года, отличается некоторым разнообразием – это монолитные каркасные здания либо с железобетонными диафрагмами жесткости, либо с внутренними кирпичными стенами, либо с внутренними стенами в виде заполнения каркаса легкобетонными штучными материалами (рис. 47). Наружные стены этих зданий также разной конструкции:

- многослойные с внутренним несущим слоем из железобетона и наружным из кирпича;
- поэтажно опертые кирпичные;
- с внутренним несущим слоем из железобетона и наружным из легкобетонных штучных материалов.

Железобетонные перекрытия – монолитные или сборные.



Рис. 47. Общий вид жилых домов по индивидуальным проектам

Сейсмостойкость этих зданий оценить сложно, но учитывая, что они построены на площадках 8 и 9 баллов при отсутствии физического износа, принимаем их сейсмостойкость на проектном уровне – **8 и 9 баллов**.

2.5. Влияние вторичных факторов от воздействия землетрясений на уязвимость объектов и территории в целом

Последствия землетрясений очень многообразны и чрезвычайно опасны. В истории известны случаи, когда именно вторичные последствия стали основной причиной гибели людей и больших материальных убытков. Например, землетрясение 31.05.1970 г. в Перу вызвало сотрясение скал и льда на его склонах. В результате возник гигантский оползень, превратившийся в каменно-ледяную лавину, которая промчалась по длинной долине со скоростью 200 км/час, сметая на своем пути и небольшие поселения и два городка. Погибло 25 тыс. человек. При землетрясении 1923 г. в Японии большая часть жителей Токио погибли не от обрушения легких жилых малоэтажных строений, а от многочисленных пожаров [30].

По происхождению вторичные воздействия условно подразделяют на природные и техногенные, хотя в итоговой составляющей последствий от землетрясений значительная доля принадлежит и социальным последствиям.

К природным относят процессы, сопутствующие землетрясениям, – цунами, лавины, обвалы, оползни, сели, трещинообразования и сдвиги грунта, затопление территорий. Наиболее частое распространение имеют осыпи рыхлого грунта, а в рыхлом водонасыщенном грунте на крутых склонах возможны оползни и обвалы. На ровной поверхности водонасыщенных грунтов часто образуются просадки почвы, заполняющиеся водой. Величина проявления природных вторичных воздействий напрямую зависит от интенсивности землетрясения, грунтовых условий местности и часто погодных условий (дожди, наличие ледников, влагонасыщения почвы при таянии снега и т. д.).

Косвенный материальный ущерб часто зависит от прямого ущерба и выражается в виде материальных потерь, изменением общей психоэмоциональной обстановки, нарушением социальных связей, перемещением большого количества людей, нарушением их трудоспособности и т. п.

Группа техногенных вторичных воздействий связана с повреждениями в результате землетрясений различных технических объектов – зданий, сооружений, оборудования, инженерных коммуникаций, возникновению пожаров, выбросам сильно ядовитых или опасных веществ и т. п.

Повреждения зданий и сооружений. Повреждения зданий уже возможны при землетрясении интенсивностью более 6 баллов. Значительные повреждения несущих конструкций или даже их разрушения, как правило, начинаются при 7 баллах и выше.

Первыми повреждаются здания и сооружения, не имеющие антисейсмических мероприятий с большим физическим износом, а также наиболее слабые в сейсмическом отношении (типы А и Б по сейсмическим шкалам MSK-64 и MMSK-86) – это здания со стенами из местных строительных материалов (сырцового и жженого кирпича или рваного камня, с деревянным каркасом).

Начиная от 8 баллов «тяжелые» повреждения получают здания типа В и С7 – деревянные дома хорошей постройки, железобетонные и каменные дома с уровнем антисейсмического усиления 7 баллов.

При расчетной интенсивности 9 баллов то же самое произойдет и со зданиями типа С8, запроектированными с уровнем сейсмоусиления 8 баллов.

На площадках, где возможна интенсивность землетрясения свыше 9 баллов, проектировать и строить здания не рекомендуется нормами. В исключительных случаях проектирование зданий должно сопровождаться Специальными техническими условиями (СТУ), составленными специализированными организациями, имеющими на это право.

Пожары в зданиях. Подземные толчки, колебания, сдвиги грунтового основания и другие природные факторы, сопровождающие землетрясения способны не только вторгнуться в среду обитания человека, но и коренным образом нарушить привычный уклад тысяч людей. Повреждение и разрушение жилых и производственных зданий, АЭС, объектов с химически опасным хранением веществ, обрыв линий электропередачи, повреждение газопроводов, разрушение печей, опрокидывания нагревательных приборов и т.п. приводят к массовым пожарам и взрывам. Пожары могут нанести ущерб, сопоставимый, а иногда и превышающий от непосредственно самих землетрясений.

В густонаселенных районах, расположенных вдали от водоемов, борьба с массовыми пожарами затруднена, прежде всего, вследствие нескольких причин – система водопровода оказывается поврежденной, автомобильные «пробки» из-за образования завалов на проезжей части улиц, нехватка пожарных машин.

В зависимости от количества и качества горючих материалов, продолжительности их горения, площади распространения огня, а также с учетом последствий пожара и нанесенного им ущерба все пожары классифицируются по 5-балльной шкале. Наиболее обширным и сильным пожарам присваивается максимальная 5-я категория пожароопасности.

Поэтому в наиболее сейсмоопасных районах, расположенных на 8–9-балльных территориях, согласно нормам: «... необходимо предусматривать расчлененную планировочную структуру городов, крупных жилых массивов и рассредоточенное размещение объектов с большой концентрацией населения, с помощью транспортных магистралей или полос зеленых насаждений с целью предотвращения пожаро- и взрывоопасных факторов».

Завалы на дорогах и нарушение транспортного сообщения. При решении генеральных планов городов крайне важно предусматривать дополнительные внешние связи отдельных территорий и целых микрорайонов - объездные дороги, пути внутри городской застройки, которые можно использовать в случае выхода из строя основных магистралей в результате заторов или завалов на дорогах. Выход из строя основных элементов транспортных коммуникаций приводит к транспортному коллапсу в целом, сопровождающемуся транспортными авариями, нарушением работы аварийных служб, медицинского обслуживания и т. д.

Взрывы на АЗС. Автозаправочные станции – это комплекс зданий и сооружений с оборудованием для приема, хранения и выдачи нефтепродуктов транспортным средствам, причем большая часть такого технологического оборудования размещена на открытых площадках. Это делается для того, чтобы выделяющиеся горючие и токсичные пары рассеивались естественными воздушными потоками. Взрывы и пожары на емкостном оборудовании возможны только при аварийных ситуациях, в случаях утечки дизельного топлива или бензина и при наличии источника воспламенения. Опасность возникновения аварийной ситуации может также возникнуть и при нарушении герметичности технологической системы вскрытия резервуаров.

В зависимости от характера разгерметизации резервуаров, аварийные ситуации могут быть в виде проливов, пожаров проливов, взрывов, огненных шаров. В случае возникновения любого проявления аварийной ситуации необходимо проводить экспресс-оценку параметров возможного взрыва, анализ последствий пожара, оценку воздействия взрыва, характеристику токсического заражения людей, имущества, окружающей среды с определением зон поражения и количества возможных жертв. При оценке поведения жидких углеводородов в результате разгерметизации оборудования производится оценка формирования площади испарения и взрывоопасного облака всего объема жидкой фазы при полном разрушении оборудования.

Причинами разрушения емкостей могут служить различные события, вызванные внутренними или внешними факторами, в том числе землетрясением, диверсией, терактом, тепловым ударом, гидравлическим разрывом и т. п.

Величины индивидуальных рисков для различных типов аварий при определении зон поражения вследствие ударной волны, пожара пролива и огненного шара показывают, что наиболее опасным поражающим фактором является ударная волна, а наиболее опасным источником аварии – резервуары. Автоцистерны из-за меньших объемов взрывоопасных веществ представляют меньшую опасность. Наименьшие последствия характерны для аварий с дизельным топливом. Индивидуальный риск при нахождении в радиусе 30 м составляет:

- для ударной волны – $(1,25-1,58) \times 10^{-5}$;
- для огненного шара – $(2,41-3,93) \times 10^{-6}$;
- для пожара пролива – от $1,2 \times 10^{-6}$ до $7,2 \times 10^{-7}$.

При взрывах резервуаров или автоцистерн возможны разрушения как оборудования и зданий АЭС, так и тяжелое травмирование людей в радиусе: при взрыве бензина – 78,7 м, при взрыве дизельного топлива – 15,1 м.

Средние, легкие травмы и контузии могут получить люди, находящиеся в радиусе 78,7–160 м при взрыве бензина и 15,1–43,7 м при взрыве дизельного топлива. В целом зона травмирования людей составляет до 230 м.

При пожарах, возникших в результате проливов бензина, действие теплового излучения на людей с получением ожогов различной степени тяжести возможны в радиусе: 25 м – пролив бензина из автоцистерны и 50 м – пролив бензина из резервуара.

При сгорании огненного шара тепловое излучение воздействует в радиусе до 35 м и до 11 м соответственно для бензинов и для дизельного топлива. Причем, поражающий фактор огненного шара заметно ослабевает при удалении за границу эффективного радиуса.

Таким образом, существует вероятность повреждения и разрушения зданий и поражения людей, находящихся в районе аварии.

«При разработке генеральных планов сооружений с взрывоопасными производственными процессами, аварийное состояние которых при землетрясении связано с опасностью для обслуживающего персонала и населения прилегающего района, следует размещать их на наиболее благоприятных в сейсмическом отношении площадках».

Повреждение инженерных коммуникаций. Выход из строя инженерных коммуникаций из-за землетрясения приводит к нарушению систем жизнеобеспечения – водо- и теплоснабжения, канализации, связи, энергоснабжения. Инженерные коммуникации, в том числе внутриплощадочные сети и протяженные магистральные трубопроводы как линейные объекты оказываются уязвимыми перед опасными природными воздействиями, которые способны нанести серьезные повреждения подземным и надземным коммуникациям.

При распространении сейсмической волны в трубах будут возникать значительные инерционные силы, что вызовет деформацию труб – смятие или гофрообразование. Если материал труб обладает низкими пластическими свойствами, то в них возможны трещины, разрывы, изломы, срезы, вертикальные перемещения (просадки) трубопроводов. Это связано с тем, что конструкция подземного сооружения, имеющая жесткость, отличную от жесткости грунтового массива, искажает поле сейсмических волн, образуются зоны концентрации напряжений. Если конструкция трубопроводов гибкая, то она будет следовать за смещениями и деформациями грунтового массива, следовательно, повре-

ждений в материале будет значительно меньше. К сожалению, повреждение определенного участка в сети труб будет влиять на другие части системы.

Надо учитывать, что сейсмическое воздействие на объекты инженерных коммуникаций, в частности газопровода, может вызвать вторичные техногенные аварии – взрывы, пожары, выбросы опасных веществ и пр., последствия от которых могут нанести большой экономический и экологический урон и увеличить общий ущерб от землетрясения.

Согласно отечественным и зарубежным данным по авариям на магистральных трубопроводах, процент аварий, вызванных землетрясениями, незначительный. Однако, землетрясения интенсивностью 7 баллов и более, ввиду их слабой прогнозируемости, могут нанести урон во много раз превышающий ущерб от других геологических процессов – оползней, морозного пучения и т. д.

В Японии разработан и апробирован антисейсмический элемент для инженерных сетей, позволяющий компенсировать напряжения, возникающие в системе при землетрясениях более 9 баллов при пересечении трубопроводом антисейсмических и деформационных швов в здании. Такая система состоит из гибкого участка трубопровода и его крепления к ограждающим конструкциям.

При проектировании сетей и сооружений водоснабжения для районов с сейсмичностью 7–9 баллов предусматривают специальные мероприятия (устройство установок аварийных насосов, электрических установок и т. п.) по обеспечению подачи воды для тушения пожаров, которые могут возникнуть при землетрясении, бесперебойную подачу питьевой воды, а также подачу воды на неотложные нужды производства.

Пожарные гидранты, а также колодцы с задвижками на трубопроводах следует располагать так, чтобы вероятность их завала в случае обрушения окружающих зданий и сооружений была наименьшей. Для этого рекомендуется пожарные гидранты и колодцы с задвижками располагать с торцов зданий.

Существует ряд нормативных требований, регламентирующих особенности прокладки трубопроводов в сейсмоопасных районах, препятствующие разрушениям и снижающие деформации инженерных конструкций при землетрясениях.

Наводнения. По материальному ущербу последствия от наводнений уступают лишь самим землетрясениям. Масштабы последствий затопления зависят от вида источника затопления, в частности от гидротехнических сооружений, площади разлива, продолжительности затопления, скорости водного потока, от плотности населения на территории, подвергшейся затоплению, хозяйственного назначения территории. Удельный материальный ущерб выражается в денежном выражении и зависит от количества единиц разрушенных или степени поврежденных объектов. Кроме прямого ущерба также оценивают косвенный ущерб, который включает в себя затраты на поддержание жизнеобеспечения населения и доставку в районы бедствия продуктов, медикаментов, одежды, строительных материалов и т. п.

Социальные последствия. Социальные последствия для населения также носят чрезвычайный характер и приводят к нарушению повседневного уклада жизни значительных групп населения, нарушению их психоэмоционального состояния, связанного с травмированием или гибелью близких или знакомых людей, потерей крова, с уничтожением их материального имущества, нарушением системы жизнедеятельности и т. д. Нарушение инфраструктуры

населенных пунктов, в частности разрушение систем канализации объектов и перерывы в снабжении населения чистой питьевой водой, пищей, приводит к массовым заболеваниям и даже эпидемиям. На восстановление уровня жизнеобеспечения требуется значительное время и материальные затраты [41].

2.6. Оценка сейсмического риска, как средство градостроительного развития урбанизированной территории

2.6.1. Критерии комплексной оценки сейсмической уязвимости территории

Оценка уязвимости городской территории основана на комплексных исследованиях по определению основных компонентов риска:

- анализе сейсмической опасности г. Иркутска в целом и конкретных исследуемых участков территории;
- инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории;
- оценке проектной сейсмостойкости и уязвимости (дефицита сейсмостойкости) зданий и сооружений с учетом их физического и сейсмического износа;
- оценке градостроительной уязвимости (этажность застройки, плотность населения на различных участках, рельеф местности, наличие зон безопасности и т. п.);
- учете влияния возможных последствий (вторичные воздействия) в результате землетрясений;
- ранжировании территории с учетом комплексной оценки уровня сейсмической опасности и уязвимости застройки;
- оценке сейсмического риска участков исследуемой территории и г. Иркутска в целом (при необходимости).

Данный комплексный подход при оценке сейсмического риска основан на всестороннем изучении различных взаимосвязанных факторов уязвимости. Методика подхода использовалась при определении сейсмического риска и уязвимости различных территорий от сценарных землетрясений в России (Иркутская область – гг. Шелехов, Ангарск, Байкальск, Иркутск) и в странах СНГ (республика Армения, Северная Осетия-Алания, республика Монголия), а также неоднократно описана в научных журналах [8, 11–14, 20].

Основными компонентами риска при оценке уязвимости застройки на участках рассматриваемой территории являются жилые и общественные здания (значимые промышленные сооружения отсутствуют), а также инженерные объекты жизнеобеспечения и население. При этом следует учитывать, что исследования при оценке уязвимости проводились не для каждого отдельного здания, а были выбраны несколько объектов-представителей от каждой типовой серии с учетом периода их застройки (паспортизация зданий-представителей представленных серий). В реальности на степень их уязвимости повлияют не только инженерно-геологические условия и балльность возможных землетрясений, но и качество строительства каждого здания, незаконные конструктивные изменения, вносимые жильцами на типовых этажах, и переустройство первых этажей под офисные помещения, эксплуатационное состояние зданий и т. д. Тем не менее, учитывались этажность и плотность населения, проживающего в уязви-

мых зданиях, правда, не по каждому отдельному объекту, а по группам зданий на различных участках.

Стоит уточнить также, что не все факторы, влияющие на уровень сейсмического риска, были учтены в данном расчете риска, за пределами учета остались: объекты инженерной инфраструктуры, возможные выбросы вредных веществ в атмосферу, последствия от возникновения пожаров или наводнение в результате возможного повреждения участков плотины и т. п.

Исходные данные для расчета сейсмического риска по отдельным участкам представлены в сводной табл. 26

Таблица 26

Исходные данные к расчету сейсмического риска

Классы зданий по шкале MMSK-86	Общая площадь, кв. м.	Численность жителей, чел.
Участок 1		
C6	10 690	1190
C7	7130	790
<i>Итого</i>	17 820	1980
Участок 2		
C6	92 163	5880
C6,5	92 163	5880
C7	13 222	1460
C7,5	28 514	3170
C8	96 510	5220
C9	79 731	2660
<i>Итого</i>	402 303	24270
Участок 4		
C7	32 185	2680
C7,5	36 538	2030
C8	73 131	2650
C9	193 912	5540
<i>Итого</i>	335 766	13 900
Участок 5		
C9	113 265	3250
Итого по всем участкам	863 214	43 400

2.6.2. Результаты расчета сейсмического риска

Результаты исследований и расчет риска показали, что большая часть исследуемой территории при 8- и 9-балльных землетрясениях, подвержена потенциальному риску. Данный расчет позволил дифференцировать выбранную территорию по зонам с различным уровнем сейсмического риска в зависимости от воздействия природно-техногенных факторов и уязвимости объектов риска. Такая дифференциация территории должна стать одной из составляющих при принятии основных градостроительных решений при проектировании.

Ниже в табл. 27 представлены результаты расчета от прогнозируемых землетрясений интенсивностью 7, 8 и 9 баллов [5].

В качестве «приемлемого уровня» сейсмического риска, принятого в России, используем величину 1×10^{-5} (чел. / чел. год или 1/год), т. е. один погибший при землетрясении на 100 000 жителей в течение года.

Таблица 27

Последствия прогнозируемого землетрясения для исследуемых участков при интенсивности сейсмических событий

Показатели	Участок 1			Участок 2			Участок 4			Участок 5		
	7 бал- лов	8 бал- лов	9 бал- лов	7 бал- лов	8 бал- лов	9 бал- лов	7 бал- лов	8 бал- лов	9 бал- лов	7 бал- лов	8 бал- лов	9 бал- лов
Население, тыс. чел.	1980			24 270			13 900			3250		
Общая площадь жилого фонда, тыс. кв. м.	17 820			402 303			335 766			113 265		
ПОКАЗАТЕЛИ УЯЗВИМОСТИ												
Доля зданий, получивших повреждения, %	56	65	22	40	52	48	4	32	81	–	10	87
Доля разрушений и обвалов зданий, %	< 2	31	78	< 1	15	50	–	< 1	13	–	–	3
Число жителей, оставшихся без крова, тыс. чел.	0,19	1,10	1,85	1,07	7,84	16,50	–	0,40	4,90	–	–	0,50
Материальный ущерб, %	6,4	37	79	3,2	20	54	< 1	2,4	22	–	< 1	10
Общие потери, тыс. чел.	0,036	0,49	1,38	0,17	3,23	11,65	–	0,12	2,27	–	–	0,10
Безвозвратные потери, тыс. чел.	0,012	0,22	0,77	0,05	1,38	6,25	–	0,04	0,97	–	–	0,03
Санитарные потери, тыс. чел.	0,024	0,27	0,61	0,12	1,85	5,40	–	0,08	1,30	–	–	0,07
ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА												
Индивидуальный сейсмический риск, 1/год	12 × 10 ⁻⁵	22 × 10 ⁻⁵	39 × 10 ⁻⁵	5 × 10 ⁻⁵	11 × 10 ⁻⁵	26 × 10 ⁻⁵	–	0,6 × 10 ⁻⁵	7 × 10 ⁻⁵	–	–	1 × 10 ⁻⁵
Коллективный сейсмический риск, чел.	–	–	1	–	3	6	–	–	1	–	–	–

Примечание: показатели индивидуального сейсмического риска по участкам соответствуют:

- $< 1 \times 10^{-5}$ – умеренный уровень сейсмического риска 
- 5×10^{-5} – 10×10^{-5} – средний уровень сейсмического риска 
- 10×10^{-5} – 20×10^{-5} – высокий уровень сейсмического риска 
- 20×10^{-5} – 50×10^{-5} – весьма высокий уровень сейсмического риска 

1. Уровень индивидуального сейсмического риска на исследуемой территории оценивается следующим образом.

На 1-м участке, где малоэтажная застройка представлена жилыми зданиями с классами сейсмостойкости не выше С7 баллов, показатели индивидуального сейсмического риска оцениваются как «*высокий уровень индивидуального сейсмического риска*» при интенсивности землетрясения 7 баллов (рис. 48, а) и «*недопустимо высокий уровень сейсмического риска*» при интенсивности землетрясения 8 и 9 баллов (рис. 48, б, в).

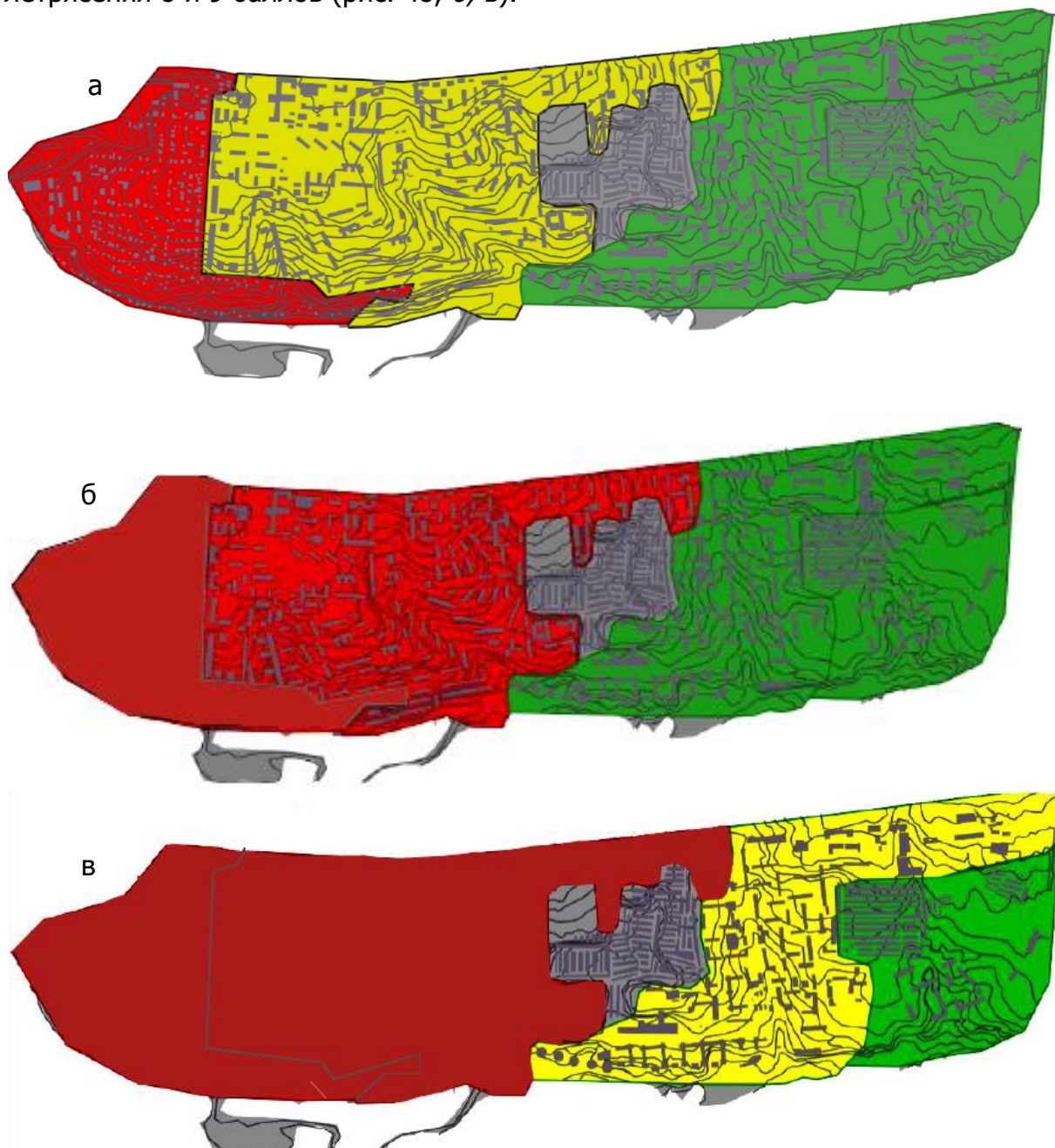


Рис. 48. Схемы-карты индивидуального сейсмического риска исследуемой территории:
а – интенсивностью 7 баллов; б – интенсивностью 8 баллов; в – интенсивностью 9 баллов

На участке 2 застройка представлена жилыми домами различных типовых серий с классами сейсмостойкости от С6 до С9 баллов, однако доля жилых до-

мов с низким классом сейсмостойкости довольно высокая – 51 %, поэтому показатели индивидуального сейсмического риска оцениваются как *«средний уровень сейсмического риска»* при интенсивности землетрясения 7 баллов (см. рис. 48, а) и *«высокий»* и *«весьма высокий уровень сейсмического риска»* при интенсивности землетрясения 8 и 9 баллов соответственно (см. рис. 48, б, в).

Индивидуальный сейсмический риск не превышает «приемлемый уровень» сейсмического риска только на двух участках:

- на 4-м участке при интенсивности 7 и 8 баллов (см. рис. 48, а, б);
- на 5-м участке при интенсивности 7, 8 и 9 баллов (см. рис. 48, а, б, в).

2. Максимальная доля зданий (от общего количества на всех участках), получивших повреждения разной степени, оценивается как:

- на участках 1 и 2 – это 56 % и 40 % при землетрясении 7 баллов,
- 65 % и 52 % соответственно при 8 баллах;
- 22 % и 48 % соответственно при 9 баллах

Доля поврежденных зданий на 1- и 2-м участках при 9-балльном землетрясении снизилась за счет того, что возросла доля обрушившихся зданий.

– на участках 4 и 5 доля поврежденных зданий – 32 % при землетрясении интенсивностью 8 баллов;

- 81 % и 87 % соответственно при 9 баллах.

3. Максимальная доля разрушившихся зданий также отмечена на участке 1 и 2:

- 31 % и 15 % соответственно при 7 и 8 баллах;
- 78 % и 50 % при 9 баллах.

4. Максимальный материальный ущерб (от первоначальной стоимости жилого фонда) также приходится на участки 1 и 2 и составит:

- 37 % и 20 % при землетрясении 8 баллов;
- 79 % и 54 % при землетрясении 9 баллов.

В Прил. Б (рис. Б. 1, Б. 2) в качестве примера приведены карты индивидуального сейсмического риска, составленные в ИЗК СО РАН (г. Иркутск) для г. г. Шелехова и Байкальска Иркутской области, при интенсивности возможного землетрясения 8 баллов (2012 г.). Авторы: Ю.А. Бержинский, Л.П. Бержинская, Л.И. Иванькина, О.И. Саландаева.

Карты сейсмического риска наглядно показывают наиболее уязвимые в сейсмическом отношении участки исследованной территории, а также приводят количественную величину вероятного ущерба от сейсмического воздействия при разной интенсивности землетрясения. Это позволяет наиболее рационально и планомерно проводить превентивные мероприятия, направленные на уменьшение последствий в результате землетрясения. Такой систематический подход к планированию и осуществлению превентивных мероприятий должен выполняться постоянно, т. к. сейсмические катастрофы затрагивают все сферы деятельности человека, да и все слои населения сейсмоопасных районов [34].

2.6.3. Градостроительное управление сейсмическим риском

Оценка сейсмического риска и управление риском – это две составляющие единого процесса принятия решения, основанные на характеристике риска, и имеющие общую цель – выработка действий, направленных на минимизацию последствий сейсмического риска. Для достижения общей цели необходимо

знать как факторы основных источников опасности и аспекты риска (оценка сейсмического риска), так и наиболее эффективные и рациональные пути сокращения риска (управление риском). Различие между оценкой сейсмического риска и его управлением заключается в том, что оценка риска базируется на фундаментальных исследованиях источников риска и инженерном анализе объектов риска с учетом особенностей взаимодействия между ними. В основу управления сейсмическим риском положен экономический и социальный анализ последствий сильных землетрясений в конкретном регионе.

Характер принятия градостроительных решений в большой степени зависит от многообразия природных процессов и социально-экономических условий конкретных территорий, определяющих возможность их промышленно-хозяйственного использования. Выработке решений предшествует всесторонний анализ, направленный на оценку влияния каждого из неблагоприятных критериев. Например, основными составляющими оценки природных факторов являются: рельеф местности, грунтовые условия, предрасположенность к заболачиванию, подтоплению, овраго- или карстообразованию, к оползневым процессам, к размыву берегов водохранилищ, инсоляция, вечная мерзлота и т. д.

Но если к перечисленным факторам добавляются еще такие опасные процессы как, например, сейсмическая активность, сходы селевых потоков, сезонные наводнения и т. п., то возникает необходимость применения дополнительных инженерных мероприятий, позволяющих нейтрализовать или снизить риски от подобных явлений.

Комплексный градостроительный анализ современного состояния территории в Октябрьском округе г. Иркутска позволил выявить характерные ее особенности и наметить пути дальнейшего ее развития.

1. *Высокая сейсмическая опасность территории.* Расчетная сейсмичность всех участков рассматриваемой территории согласно картам ОСР-2016 и СМР составляет 8 и 9 баллов, причем 9-балльные площадки, в основном, расположены в прибрежной зоне. Глубина распространения 9-балльных площадок на сушу, на которых возможны приращения сейсмической балльности в среднем до 0,5 балла, составляют от 100 м и более.

2. *Инженерно-геологические условия.* Грунты на всей исследуемой территории представлены суглинками в полутвердом и пластическом состоянии, с отдельными вклинивающимися участками галечникового грунта и песчаного заполнителя. Мощность слоев суглинка в среднем около 12 м.

3. *Подтопление территории.* Городская застройка создает значительную дополнительную неравномерную нагрузку на земную кору, повышая уровень грунтовых вод и создавая риск наводнений. Если же подземные воды еще гидравлически связаны с рекой, а также взаимодействуют с поверхностными водами водохранилища, то в результате такого взаимодействия водоносный горизонт становится напорным, как в случае прилегающих территорий района плотины Иркутской ГЭС. В целом, само искусственное водохранилище Иркутской ГЭС кардинальным образом изменило гидросистему значительной части территории – сильно повысился уровень подземных вод, что проявилось в подтоплении береговой зоны вдоль русла рек. Дополнительное повышение уровня подземных вод вблизи плотины ГЭС (участки № 4 и № 5) составило до 1,0 м; на участках, удаленных от реки – до 0,5 м. В зоне пониженного рельефа участка № 2 проявилась заболоченность и просачивание грунтовых вод на поверхность.

4. *Наведенная сейсмичность.* Строительство крупных водных сооружений, каким является искусственное водохранилище Иркутской ГЭС, приводит к затоплению значительной части земель, изменению гидрологического режима и резкому увеличению неравномерной нагрузки на земную кору – все это способствует возникновению локальной наведенной сейсмичности. При этом, верхняя часть земной коры находится в неустойчивом (метастабильном) состоянии, которое может, при определенном воздействии на нее, спровоцировать разрядку накопившихся напряжений, т. е. землетрясение.

5. *Рельеф местности.* Большая часть прибрежной территории является участками, неблагоприятными в сейсмическом отношении – это территории с крутизной склонов порядка 15° , на которых при землетрясениях возможны оползни, осыпи. При необходимости застройки таких площадок необходимы дополнительные меры по укреплению их оснований и инженерной защите территорий от опасных геологических процессов (устройство подпорных стенок, террасирование склоновых территорий и т. п.).

6. *Конструктивная уязвимость строительных объектов на исследуемой территории.* В сейсмически активных районах конструктивная уязвимость строительных объектов оценивается, прежде всего, дефицитом сейсмостойкости, а визуально определяется возможной степенью повреждений в результате землетрясения. Оценивая уровень сейсмостойкости обследуемого здания, исходят из его проектной балльности и степени физического и сейсмического износа основных несущих конструкций. Чем больше интенсивность произошедшего землетрясения и выше дефицит сейсмостойкости застройки, тем более высокую степень повреждения они получают при землетрясении.

Дефицит сейсмостойкости застройки на рассматриваемой территории различный – до 3 баллов на участке № 1; 0,5–2 балла на участке № 2 и 0–1 балла на участках № 4 и № 5. Таким образом, в результате возможного расчетного землетрясения самые высокие степени повреждения получают здания на участках № 1 и № 2, что, конечно, отразится и на социальных последствиях.

7. *Неэффективное использование территориальных ресурсов.* Большая часть селитебной территории участка № 1 занята низкоплотной неблагоустроенной жилой застройкой, имеющей значительный физический износ. Это резко снижает качество городской среды этой территории. Аналогичная ситуация и в прибрежной зоне участка № 2, где первоначально велась застройка одноэтажными деревянными домами, а затем дополнялась или заменялась частными каменными строениями. Таким образом, прибрежная часть участка № 2 имеет разный тип низкоплотной жилой застройки.

Участок № 3 почти полностью занят одноэтажными гаражными постройками и закрытой территорией татарского кладбища. Часть территории участка № 5 также занята одноэтажными гаражными постройками. При этом, свободных площадок под высокоплотную застройку в границах города недостаточно.

Таким образом, одна треть исследуемой территории, расположенной в Октябрьском округе г. Иркутска, при корректировке градостроительных решений может рассматриваться как резервная.

8. *Отставание транспортной инфраструктуры от современных функциональных требований.* Улично-дорожная транспортная сеть, как по плотности, так и по пропускной способности не соответствует резко увеличившемуся за последние десятилетия уровню автомобилизации. К серьезным недостаткам

транспортной системы можно отнести как неудовлетворительное транспортное сообщение между разными частями города в целом, так и внутри отдельных территорий. Например, из-за неупорядоченной точечной застройки на участках № 2 и № 4 транспортное сообщение внутри жилых массивов крайне затруднено, а внутренние относительно небольшие дворовые территории переполнены автомобилями. В результате возникает высокая загазованность, низкий уровень озеленения и полное отсутствие парков или скверов общего пользования в границах селитебной зоны, что снижает качество жизни горожан.

Дополнительно усугубляют проблемы практически круглосуточные транзитные транспортные потоки по центральной магистральной улице вдоль всех исследуемых участков. Высокая транспортная нагрузка приводит не только к загрязнению воздуха на всех участках территории от выбросов транспорта (один из факторов роста заболеваемости населения), но и к свехнормативному шумовому загрязнению части участков, близко расположенных к магистрали.

9. Экологические проблемы территорий. Сложность для любого большого города – это решение различных экологических проблем. Загрязнение береговой зоны и водных объектов приводит к гибели морских обитателей; уменьшение испарений воды негативно сказывается на естественном круговороте, способствует заболачиванию водной территории. Загрязнению рек способствуют стоки промышленных предприятий, свалки, стоки транспортных магистралей и городских улиц. Воды рек насыщаются большим числом вредных соединений, которые течением уносятся далеко за пределы городов.

Причины загрязнения почв и грунтовых вод те же, что и водных объектов. В почвах накапливаются тяжелые металлы, пестициды, удобрения, продукты разложения пластмассы, промышленные загрязнители и т. д.

Загрязнителями воздушного бассейна являются выбросы транспорта, промышленные предприятия, сжигание угля, пожары. Главные загрязнители – оксиды серы и азота, углекислый газ, озон, углеводороды, угарный газ, сажа, пыль, тяжелые металлы, хлорорганические соединения и т. д.

Повышенное тепловыделение, выбросы парниковых газов, большое поглощение солнечного света зданиями, асфальтом, крышами домов и т. д. образует над крупными городами, так называемый тепловой купол, который влияет на состояние атмосферы и приводит к росту нежелательных метеорологических процессов – засух, ураганов, наводнений, волн аномального тепла и т. д.

Источником выбросов парниковых газов (в основном, углекислый газ и метан) являются промышленность, энергетика, сельское хозяйство, транспорт. Парниковые газы очень устойчивы и способны сохраняться в атмосфере до нескольких сотен лет.

Градостроительное преобразование территории. Выработка решений по градостроительному преобразованию городских территорий должна сохранять преемственность по отношению к решениям предыдущих генеральных планов. Концепция градостроительного развития должна учитывать как преобразование территорий в условиях уже сложившейся структуры застройки, так и формирование каркаса планировочной структуры новых осваиваемых участков. Поэтапное освоение резервов городских территорий производится в соответствии с прогнозом численности населения и средней обеспеченностью их жилой площадью. Градостроительное развитие или реконструкция на сейсмоопасных территориях может предусматривать:

- завершение строительства новых сейсмостойких жилых комплексов, утвержденных прежним генпланом, на свободных площадках с использованием современных технологий и строительных материалов;
- освоение под застройку неблагоприятных, в том числе склоновых участков, с проведением предварительной инженерной подготовки территорий;
- реновацию застройки за счет использования внутренних территориальных ресурсов (снос ветхого и аварийного фонда, выборочное уплотнение застройки, строительство многоуровневых автомобильных парковок и т. д.);
- сейсмоусиление жилых домов массовой застройки 60–70-х годов XX века, имеющих дефицит сейсмостойкости, с использованием новых строительных технологий, а также реконструкцию объектов тепло-, энерго- газо- водоснабжения, водоотведения и др.;
- формирование общественно-деловых, культурно-досуговых центров, объектов социальной инфраструктуры, удобных для посещения горожан;
- создание обходных магистралей автомобильного транспорта с целью увеличения пропускной способности внутренних городских магистральных улиц;
- увеличение ширины проезжей части и эксплуатационное состояние дорог для улучшения транспортных связей отдельных территорий города;
- создание рекреационных зон, ограничивающих движение транспорта, непосредственно вблизи русла рек;
- вынос экологически опасных объектов за пределы территорий с высокой сейсмичностью, а в случае невозможности – соответствующее переоснащение или изменение функциональной направленности предприятий с целью уменьшения экономического и экологического ущерба от сейсмических воздействий;
- улучшение сейсмобезопасности населения и состояния окружающей среды за счет создания внутриквартальных зеленых зон (мини-парков, скверов) на жилых территориях и увеличения санитарно-защитных зон вокруг промпредприятий. Участки лесов, прилегающие к жилой застройке или окружающие предприятия, следует включать в планировочную структуру как элемент городского озеленения и «зоны безопасности».

Таким образом, градостроительное развитие урбанизированных территорий должно быть направлено не только на достижение приемлемого уровня сейсмической безопасности всех объектов риска (жителей, промпредприятий, основных систем жизнеобеспечения), но и на создание условий для устойчивого функционирования гражданских и промышленных объектов, современной социальной, транспортной и инженерной инфраструктуры.

ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

3.1. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Лабораторные занятия являются важным видом учебной работы студентов по дисциплине «Архитектурные конструкции сейсмостойких зданий» и выполняются в пределах часов, предусмотренных программой. Учебная работа по дисциплине осуществляется в течение 8-го и 9-го семестров. В Методических указаниях приведены темы лабораторных работ для обоих семестров и составляют по 11 тематических заданий в каждом из семестров. В процессе каждого из лабораторных занятий студенты выполняют одну или несколько лабораторных работ под руководством преподавателя в соответствии с изучаемым материалом учебного плана.

Проведение лабораторных занятий не требует специального технического оборудования, и проводится в обычных аудиторных помещениях.

Необходимые структурные составляющие лабораторного занятия:

- выдача заданий преподавателем;
- самостоятельная работа студентов;
- индивидуальная защита отчета по каждой лабораторной работе.

Перед началом работы проводится проверка конспектов – самостоятельной работы студентов, на соответствие их теоретической подготовки к выполнению задания.

Тематика и порядок выполнения каждой лабораторной работы определяется преподавателем в соответствии с учебным планом. В ходе выполнения работы студенты отвечают на 4–5 предложенных вопросов, поясняя их иллюстрационным материалом. Количество вопросов в лабораторной работе может быть увеличено, если студент пожелает более подробно осветить какой-либо раздел или тему.

Продолжительность выполнения задания – не менее двух академических часов.

Материалы лабораторных работ представляются в виде индивидуальных отчетов и излагаются в следующей последовательности:

- тема лабораторной работы;
- цель лабораторной работы;
- порядок выполнения работы,
- тема, раскрытая по каждому вопросу задания,
- необходимые схемы, таблицы, рисунки, фотографии, графики, поясняющие рассматриваемую тему,
- библиографический список и источники сети Интернет.

Объем работы – не более 6 страниц формата А4 на одну лабораторную работу.

Закрепление знаний по каждой лабораторной работе осуществляется в процессе защиты студентом лабораторных работ.

Выполнение и защита лабораторных работ являются показателями текущей успеваемости студентов по учебной дисциплине.

3.2. Задание к лабораторным работам (8-й семестр)

Тема 1. Природа землетрясений. Оценка сейсмической опасности

Лабораторная работа № 1

«Природа землетрясений и их воздействие на окружающую среду»

Время выполнения лабораторной работы – 2 часа.

Цель работы: ознакомиться с природой возникновения экзогенных и эндогенных землетрясений, видами и свойствами сейсмических волн, записями сейсмических колебаний.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие теоретические вопросы:

1. Строение земной коры и теория континентальных плит.
2. Классификация землетрясений. Фазы сейсмических колебаний.
3. Основные понятия о зонах очагов землетрясений – гипоцентре, эпицентре и изосейстах. Чем они характеризуются?
4. Виды и свойства сейсмических волн в глубине земли и в приповерхностных слоях. Динамические характеристики сейсмических волн.
5. Записи сейсмических колебаний грунтов.

Лабораторная работа № 2

«Оценка сейсмической опасности, сила землетрясений»

Время выполнения лабораторной работы – 2 часа.

Цель работы: оценка силы землетрясения по энергии сейсмических волн и по результатам обследования последствий землетрясений на поверхности земли.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Физический смысл магнитуд землетрясений. Единицы измерения, диапазон значения магнитуд. Шкала Рихтера. Эмпирическая линейная зависимость между магнитудой и энергией, выделяемой в виде сейсмических волн.
2. Энергетический класс землетрясений. Единицы измерений, диапазон значений энергетических классов.
3. Интенсивность землетрясения. Единицы измерения. Как проявляется интенсивность на поверхности земли? Уравнение макросейсмического поля.
4. Отечественные и зарубежные шкалы сейсмической интенсивности: шкала ИФЗ, MSK-64, MMSK-86, MMSK-92, EMS-92, EMS-98, ГОСТ Р 57546. Макросейсмические и инструментальные части шкал. Понятия о типе зданий, классе сейсмостойкости и степенях повреждений в шкалах.
5. Классификация зданий по уровню сейсмостойкости в сейсмических шкалах.

Лабораторная работа № 3

«Сейсмическое районирование и сейсмическое микрорайонирование территорий»

Время выполнения лабораторной работы – 2 часа.

Цель работы: оценка сейсмического ранжирования территорий по картам сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования. Расчетная сейсмичность территорий населенных пунктов по Приложению А СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» и картам ОСР.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Понятие о сейсмическом районировании территорий.
2. Цели и задачи карт сейсмического районирования ОСР, ДСР и сейсмического микрорайонирования СМР. Область применения каждой из карт.
3. Как оценивается степень сейсмической опасности по картам ОСР?
4. Главное различие в объектах исследований между картами ОСР, ДСР и СМР.
5. Виды прогноза землетрясений.

Лабораторная работа № 4 **«Реакции грунтов на сейсмические воздействия** **Приращение сейсмической балльности территории»**

Время выполнения лабораторной работы – 4 часа.

Цель работы: ознакомиться с классификацией грунтов и их динамическими свойствами при землетрясении.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Классификация грунтов по строительным свойствам.
2. Категории грунтов по сейсмическим свойствам. Основные динамические характеристики грунтов при землетрясении.
3. Что влияет на величину расчетной сейсмичности строительной площадки и приращение сейсмической балльности для грунтов?
4. Влияние грунтовых условий на повреждаемость зданий при землетрясениях.
5. Методы искусственного улучшения грунтов.

Лабораторная работа № 5 **«Оценка сейсмичности площадки строительства** **по данным инженерно-геологических изысканий»**

Время выполнения лабораторной работы – 4 часа.

Цель работы: определить категорию грунтов по сейсмическим свойствам и расчетную сейсмичность строительной площадки по результатам инженерно-геологических изысканий.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Влияние обводненности и неоднородности грунтового сложения на прочностные и деформативные свойства несущего слоя.
2. Оценка сейсмических свойств грунтов основания площадки по результатам изысканий. Определение категории грунта и расчетной сейсмичности площадки строительства.
3. Выбор типа фундаментов в зависимости от грунтового основания, сейсмичности площадки и конструктивной системы здания.
4. Основные требования, предъявляемые к фундаментам и устройству подвалов сейсмостойких зданий.

Тема 2. Основные принципы проектирования сейсмостойких зданий и сооружений

Лабораторная работа № 6 «Реакция зданий и сооружений на сейсмические воздействия. Динамические характеристики зданий»

Время выполнения лабораторной работы – 7 часов.

Цель работы: ознакомиться с реакциями зданий и сооружений, возникающими при землетрясении.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Что такое инерционная сейсмическая нагрузка на сооружения? Причины ее возникновения и способы снижения.
2. Периоды собственных колебаний зданий и грунтов оснований. Явление резонанса и квазирезонанса. Меры, позволяющие снизить вероятность их появления.
3. Диссипация колебаний в сооружениях. Что такое критическое затухание? Рекомендации сейсмических норм по затуханию.
4. Пластичность и хрупкость материалов конструкций. Положительные и отрицательные свойства пластичности. Взаимосвязь пластичности и несущей способности конструкций.
5. Эффект закручивания зданий и сооружений при землетрясении. Основные причины и виды крутильных колебаний у симметричных и несимметричных в плане зданий. Требования сейсмических норм по снижению закручивания рядом расположенных зданий.
6. Соударение зданий. Роль антисейсмических швов и требования к ним, позволяющие избежать соударения соседних строений.

Лабораторная работа № 7 «Обеспечение пространственной жесткости и сейсмостойкости зданий Влияние конфигурации зданий на его сейсмостойкость»

Время выполнения лабораторной работы – 7 часов.

Цель работы: знакомство с основными принципами проектирования сейсмостойких зданий и сооружений и их несущих конструктивных элементов.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Что такое единый жесткий диск перекрытий и чем обеспечивается его горизонтальная жесткость? Требования сейсмических норм к перекрытиям и покрытиям по созданию единого жесткого диска перекрытий.
2. Что такое вертикальные диафрагмы жесткости и связи жесткости? Как влияют размеры проемов на общую работу диафрагм? Требования норм к устройству перегородок.
3. Влияние конфигурации зданий на их сейсмостойкость. Здания сложной формы в плане. Требование сейсмических норм по конфигурации зданий и проектированию элементов, выступающих в плане здания - балконов, лоджий и эркеров.
4. Конструктивная симметрия зданий в плане и по вертикальной оси. Конструктивные решения с резким изменением прочности и жесткости здания в плане или по этажам.
5. Протяженность, высота здания и геометрические пропорции сооружений. Конфигурация вертикальных уступов.

Тема 3. Основные принципы проектирования малоэтажных сейсмостойких зданий и сооружений

Лабораторная работа № 8

«Основные принципы проектирования сейсмостойких зданий с несущими стенами из кирпича или каменной кладки»

Время выполнения лабораторной работы – 3 часа.

Цель работы: ознакомиться с принципами проектирования сейсмостойких малоэтажных зданий с несущими стенами из кирпича или каменной кладки.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Факторы, влияющие на сейсмостойкость каменных зданий.
2. Категории кирпичной кладки по сейсмическим свойствам. Как определяют категорию кладки? Способы повышения прочности и сейсмостойкости кладки стен каменных зданий.
3. Высота зданий с несущими стенами из кирпича или каменной кладки в сейсмических районах.
4. Антисейсмические пояса, назначение, принципы проектирования.
5. Требования сейсмических норм при проектировании зданий с несущими стенами из кирпича или каменной кладки.

Лабораторная работа № 9

«Основные принципы проектирования сейсмостойких малоэтажных деревянных зданий»

Время выполнения лабораторной работы – 3 часа.

Цель работы: ознакомиться с принципами проектирования сейсмостойких малоэтажных деревянных зданий.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Прочностные и деформативные свойства древесины.
2. Конструктивные решения несущих остовов деревянных зданий, предназначенных для строительства в сейсмических районах.
3. Виды соединений деревянных конструкций и способы восприятия и передачи в них усилий.
4. Чем обеспечивается жесткость и пространственная работа рубленых, каркасно-рубленых, каркасно-щитовых и щитовых зданий?
5. Нормативные требования по обеспечению сейсмостойкости деревянных зданий при проектировании.

3.3. Задание к лабораторным работам (9-й семестр)

Тема 4. Основные принципы проектирования сейсмостойких многоэтажных зданий

Лабораторная работа № 1

«Конструктивные системы и конструктивные схемы сейсмостойких зданий и сооружений»

Время выполнения лабораторной работы – 6 часов.

Цель работы: ознакомиться с основными конструктивными системами и конструктивными схемами многоэтажных зданий.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Основные и комбинированные конструктивные системы зданий. Классификация.
2. Характер работы основных несущих элементов системы, образующих пространственную жесткость и устойчивость зданий.
3. Классификация конструктивных схем каркасных и бескаркасных зданий. Характер восприятия горизонтальных сейсмических нагрузок.
4. Периоды собственных колебаний многоэтажных и зданий повышенной этажности различных конструктивных систем.

Лабораторная работа № 2 **«Основные принципы проектирования** **крупнопанельных сейсмостойких зданий»**

Время выполнения лабораторной работы – 4 часа.

Цель работы: ознакомиться с принципами проектирования крупнопанельных зданий.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Конструктивные типы крупнопанельных зданий.
2. Основные конструктивные схемы бескаркасных зданий. Обеспечение пространственной жесткости и устойчивости зданий.
3. Наружные стеновые панели. Типы и схемы разрезки наружных стеновых панелей. Внутренние стеновые панели. Плиты перекрытий.
4. Узлы сопряжения несущих конструкций крупнопанельных зданий.
5. Требования норм сейсмостойкого строительства при проектировании крупнопанельных зданий.

Лабораторная работа № 3 **«Основные принципы проектирования** **каркасных сейсмостойких зданий»**

Время выполнения лабораторной работы – 4 часа.

Цель работы: ознакомиться с принципами проектирования каркасных зданий.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Конструктивные схемы сейсмостойких каркасов.
2. Обеспечение пространственной жесткости и устойчивости зданий. Влияние заполнения каркасов на пространственную жесткость здания.
3. Наружные стены каркасных зданий.
4. Здания с нижним «гибким этажом».
5. Требования сейсмических норм при проектировании каркасных зданий.

Лабораторная работа № 4 **«Основные принципы проектирования** **сейсмостойких зданий из монолитного железобетона»**

Время выполнения лабораторной работы – 4 часа.

Цель работы: ознакомиться с принципами проектирования монолитных и сборно-монолитных зданий.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Монолитные и сборно-монолитные здания.
2. Конструктивные схемы монолитных зданий.
3. Основные несущие элементы, образующие пространственную жесткость и устойчивость монолитных зданий.
4. Узлы сопряжения основных конструкций сборно-монолитных зданий.
5. Обеспечение сейсмостойкости монолитных и сборно-монолитных зданий в сейсмических районах.

Лабораторная работа № 5 **«Основные принципы проектирования** **сейсмостойких объемно-блочных зданий»**

Время выполнения лабораторной работы – 4 часа.

Цель работы: ознакомиться с принципами проектирования объемно-блочных зданий.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Типы объемных блоков. Несущие и ненесущие объемные блоки.
2. Классификация объемно-блочных зданий.
3. Работа объемных блоков при сейсмических нагрузках.
4. Требования сейсмических норм при проектировании объемно-блочных зданий.

Лабораторная работа № 6 **«Зарубежный и отечественный опыт** **строительства высотных зданий в сейсмических районах»**

Время выполнения лабораторной работы – 6 часов.

Цель работы: ознакомиться с опытом строительства высотных зданий за рубежом и в России.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Зарубежный опыт строительства высотных зданий.
2. Рациональные объемно-пространственные решения высотных зданий. Конфигурация и силуэт зданий.
3. Конструктивные решения. Ограждающие конструкции и аэродинамические свойства.
4. Проектирование и строительство высотных зданий в России.
5. Нормативные документы по высотному домостроению.

Лабораторная работа № 7 **«Конструктивно-планировочные решения высотных зданий»**

Время выполнения лабораторной работы – 6 часов.

Цель работы: ознакомиться с опытом проектирования и строительства высотных зданий за рубежом и в России.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Конструктивные системы высотных зданий. Критерии выбора конструктивной системы.
2. Учет факторов, влияющих на выбор объемно-пространственных решений и конфигурацию высотных зданий.
3. Многофункциональные и специализированные типы высотных зданий.
4. Общие рекомендации по применению подземных и надземных несущих конструкций зданий в сейсмических районах.

Тема 5. Оценка градостроительной уязвимости территорий

Лабораторная работа № 8

«Повреждаемость зданий и сооружений различных конструктивных систем при сильных землетрясениях»

Время выполнения лабораторной работы – 6 часов.

Цель работы: ознакомиться с видами повреждений в зданиях различных конструктивных систем при сильных землетрясениях.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Повреждения в зданиях и сооружениях без антисейсмических усиления при землетрясениях.
2. Повреждения сейсмостойких зданий и сооружений различных конструктивных систем при сильных землетрясениях.
3. Мониторинг сейсмической опасности. Долгосрочный, среднесрочный и краткосрочные прогнозы.
4. Степени повреждений зданий.

Лабораторная работа № 9

«Градостроительная уязвимость территорий»

Время выполнения лабораторной работы – 6 часов.

Цель работы: ознакомиться с видами градостроительной уязвимости территории и способами оценки физической уязвимости и повреждаемости зданий.

Порядок выполнения работы: изучить и проработать следующие вопросы:

1. Понятие о градостроительной уязвимости территории. Факторы, влияющие на уровень градостроительной опасности при землетрясении.
2. Вторичные последствия сильных землетрясений.
3. Критерии и уровни сейсмического риска.
4. Способ оценки физической уязвимости и повреждаемости сооружений при различном уровне сейсмического воздействия.

Вопросы для самопроверки и контроля

1. Строение Земли. Сейсмические пояса Земли. Континентальные плиты.
2. Механизм и классификация землетрясений. Фазы сейсмических колебаний.
3. Типы и свойства сейсмических волн при землетрясении.
4. Сила землетрясений: магнитуда, энергетический класс, интенсивность.
5. Общая схема очаговой зоны. Гипоцентр и эпицентр землетрясения. Распределение интенсивности землетрясений по поверхности земли (изосейсты).
6. Измерение и регистрация сейсмических колебаний.
7. Отечественные и зарубежные шкалы сейсмической интенсивности. Типы и классы зданий.
8. Определение интенсивности землетрясения по сейсмическим шкалам. Оценка степени повреждения зданий.
9. Виды сейсмического районирования территорий. Цели и задачи карт ОСР, ДСР и СМР. Главное различие в назначении между картами.
10. Три уровня степени сейсмической опасности для зданий по картам ОСР.
11. Влияние грунтовых условий на интенсивность землетрясений. Характеристики динамических колебаний грунта при землетрясениях.
12. Влияние грунтовых условий на повреждаемость зданий.
13. Виды колебаний. Что такое гармоническое колебание? Период, амплитуда и частота колебаний. Затухающие и незатухающие колебания.
14. Как определяется сейсмичность района строительства, расчетная сейсмичность площадки строительства при проектировании сооружений и как влияют особенности грунтового основания на величину балльности строительной площадки? Что такое «средний» грунт?
15. Общие принципы проектирования зданий в сейсмических районах.
16. Конструктивные системы зданий. Жесткие и гибкие конструктивные схемы зданий. На каких типах грунтов целесообразно возводить такие здания?
17. Каркасные конструктивные системы и схемы зданий. Несущие конструкции, воспринимающие горизонтальные (сейсмические) нагрузки и обеспечивающие прочность, жесткость и устойчивость конструктивных систем. Основные требования при проектировании каркасных зданий в сейсмических районах.
18. Рамно-связевая конструктивная схема. Виды связевых элементов, их роль в обеспечении пространственной жесткости и устойчивости зданий. Предельная высота (этажность) зданий рамно-связевой схемы в сейсмических районах.
19. Рамная конструктивная схема. Обеспечение пространственной жесткости и устойчивости зданий рамной схемы. Роль перекрытий, наружных стен или заполнения каркаса при сейсмических воздействиях. Предельная высота (этажность) зданий рамной схемы в сейсмических районах.
20. Связевая схема каркасных зданий. Вертикальные элементы жесткости связевой схемы. Нормативные требования к ним. Предельная высота (этажность) зданий связевой схемы в сейсмических районах.
21. Конструктивные схемы стеновых (бескаркасных) зданий, рекомендуемые для строительства в сейсмических районах. Основные несущие элементы и характер восприятия сейсмических нагрузок.

22. Требования к перекрытиям, наружным и внутренним стенам крупнопанельных зданий. Их роль в восприятии сейсмических нагрузок.

23. Узлы крупнопанельных зданий. Основные требования, предъявляемые к зданиям КЖД при проектировании.

24. Здания с несущими стенами из кирпичной и каменной кладки. Виды каменных кладок. Факторы, влияющие на сейсмостойкость каменных и кирпичных зданий. Категории кирпичной кладки по сейсмическим свойствам.

25. Способы повышения прочности и сейсмостойкости кирпичной и каменной кладки.

26. Антисейсмические пояса. Назначение, основные требования по их устройству. Типы перемычек и требования к ним в сейсмических районах.

27. Основные требования при проектировании по обеспечению сейсмостойкости зданий с несущими стенами из кирпичной и каменной кладки. Какие элементы в здании воспринимают основные сейсмические нагрузки?

28. Виды деревянных зданий, применяемые при строительстве в сейсмических районах и основные их несущие элементы. Требования по устройству перекрытий, фундаментов под стены, оконных и дверных проемов в зданиях с рублеными стенами. Обеспечение жесткости стен из брусьев и бревен.

29. Древесина как конструкционный материал. Виды соединений деревянных конструкций: врубки, упоры, соединения на клеях, соединения на металлических связях. Основные требования при проектировании деревянных зданий в сейсмических районах.

30. Конструктивные схемы монолитных и сборно-монолитных зданий. Предельная высота (этажность) зданий в сейсмических районах. Основные требования при проектировании зданий в сейсмических районах.

31. Основные требования, предъявляемые к перекрытиям, наружным стенам и внутренним конструкциям зданий из монолитного железобетона в сейсмических районах. Узлы сопряжения монолитных и сборно-монолитных зданий.

32. Конструктивные схемы объемно-блочных зданий. Характер передачи вертикальной и горизонтальной нагрузки. Основные требования при проектировании объемно-блочных зданий в сейсмических районах.

33. Классификация объемно-блочных зданий бескаркасной конструкции. Виды изготавливаемых монолитных объемных блоков. Назначение. Предельная высота (этажность) зданий в сейсмических районах.

34. Влияние конфигурации зданий на уровень сейсмостойкости. Критерии регулярности сооружений в плане и по высоте.

35. Факторы, влияющие на конфигурацию зданий. Критерии регулярности конструктивных решений зданий.

36. Критерии регулярности применяемых конструктивных решений к сооружению в целом.

37. Основные требования, предъявляемые к конструкциям перекрытий и покрытий сейсмостойких зданий.

38. Основные требования, предъявляемые к конструкциям наружных и внутренних стен сейсмостойких зданий.

39. Основные требования, предъявляемые к конструкциям стен подвалов и фундаментов в сейсмических районах.

40. Антисейсмические швы. Назначение. Основные положения по устройству антисейсмических швов в зданиях.

41. Основные требования по устройству балконов, лоджий и эркеров в сейсмических районах.

42. Основные требования, предъявляемые к устройству лестниц в сейсмических районах.

43. Основные требования по устройству сборных перегородок в сейсмических районах.

44. Малоэтажные здания. Классификация несущих остовов зданий. Основные конструктивные элементы несущего остова, обеспечивающие жесткость и устойчивость зданий.

45. Малоэтажные здания. Конструктивные решения фундаментов малоэтажных зданий. Взаимосвязь «архитектурно-планировочное решение – конструкция фундамента – состояние грунта».

46. Зарубежный и отечественный опыт строительства высотных зданий. Конструктивные системы высотных зданий: основные и комбинированные. Критерии выбора конструктивной системы. Учет факторов, влияющих на выбор объемно-пространственных решений и конфигурацию высотных зданий.

47. Конструкции основного остова высотных зданий. Конструкции подземных этажей и типы фундаментов высотных зданий. Общие рекомендации по применению подземных и надземных несущих конструкций зданий в сейсмических районах.

48. Понятие о градостроительной уязвимости территории и застройки. Факторы, влияющие на уровень градостроительной опасности при землетрясении.

49. Критерии и уровни сейсмического риска. Понятие о физической уязвимости и повреждаемости сооружений при сейсмическом воздействии

50. Вторичные последствия сильных землетрясений. Механизм влияния землетрясения на возникновение и распространение пожаров. Группы возгораемости строительных материалов. Особенности распространения пожаров в зонах завалов разрушенных зданий.

Заключение

Выполнение лабораторных работ по дисциплине «Архитектурные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений» тесно связано с учебной аудиторной работой студентов. В учебном пособии изложена концепция изучения дисциплины курса в течение двух семестров и основные требования допуска к экзамену. Основой концепции является изучение принципов архитектурно-конструктивного проектирования сейсмостойких зданий и сооружений, основанных на четком понятии работы основных несущих конструкций при землетрясении и правильно подобранных конструктивных схемах зданий.

В учебном пособии освещены отдельные справочные материалы из нормативных документов, помогающие студентам осмысленно и самостоятельно работать с учебным материалом и научной информацией, способствуют заложению основ самоорганизации, выработке умения в дальнейшем непрерывно повышать уровень своей квалификации.

Лабораторные работы позволяют студентам расширить знания, полученные в процессе изучения программы дисциплины под руководством преподавателя, стимулируют к изучению дополнительных материалов по изучаемым темам дисциплины, прививают навыки отбирать необходимый материал из различных источников.

Предложенное учебное пособие должно способствовать творческой активности студентов, что в конечном результате обеспечит повышение уровня знаний по данной дисциплине и позволит должным образом подготовиться к сдаче экзамена.

Библиографический список

1. Александров А.А. Методы анализа сейсмического риска для населения и урбанизированных территорий / А.А. Александров // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». – 2015. – № 2. – С. 110–124.
2. Арнольд К. Архитектурное проектирование сейсмостойких зданий / К. Арнольд, Р. Рейтерман ; под ред. С.В. Полякова, Ю.С. Волкова ; пер. с англ. Л.Л. Пудовкиной. – М. : Стройиздат, 1987. – 196 с.
3. Айзенберг Я.М. Сейсмостойкость сооружений / Я.М. Айзенберг, К.С. Абдурашидов, Т.Ж. Жунусов. – М. : Наука, 1989. – 192 с.
4. Жунусов Т.К. Основы сейсмостойкости сооружений : монография / Т.Ж. Жунусов. – Алма-Ата : Рауан, 1990. – 270 с.
5. Иванова Н.В. Градостроительная оценка территории с учетом сейсмических рисков на примере жилого района г. Иркутска : автореф. дис. ... магистра / Н.В. Иванова. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2019. – 97 с.
6. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений : в 2 ч. / Ю.И. Немчинов. – Киев : 2008. – Ч. 2. – 480 с.
7. Уздин А.М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений : в 2 ч. / А.М. Уздин, Т.А. Сандович, Аль-Насер-Мохомад Самих Амин. – СПб. : Изд-во ВНИИГ. – 1993. – Ч. 2. – 175 с.
8. Акбиев Р.Т. Методика выявления и оценки территорий повышенного сейсмического риска в генеральном плане города / Р.Т. Акбиев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2010. – № 4. – С. 54–63.
9. Ананьин И.В. Влияние многократности сейсмических воздействий на степень повреждения зданий / И.В. Ананьин // Источники и воздействие разрушительных сейсмических колебаний. – М. : Наука, 1990. – Вып. 31. – С. 142–148.
10. Баркан Д.Д. Влияние свойств грунтов оснований при расчете сооружений на сейсмическое воздействие / Д.Д. Баркан, Ю.Г. Трофименков, М.И. Голубцова // Свойство грунтов при вибрациях. – 1955. – С. 55–69.
11. Бержинская Л.П. Оценка сейсмического риска жилищного фонда населенных пунктов Иркутской области с учетом набора карт ОСР-97 (А, В, С) / Л.П. Бержинская // Анализ, оценка и управление рисками на уровне региона: техногенные, природные и социальные аспекты. – 2001. – С. 214–219.
12. Последствия прогнозируемого землетрясения для г. Иркутска и региона / Ю.А. Бержинский [и др.] // Сейсмологический мониторинг в Сибири и на Дальнем Востоке. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2002. – С. 200–206.
13. Бержинский Ю.А. Классификация зданий по уровню их сейсмостойкости / Ю.А. Бержинский // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2007. – № 5. – С. 37–40.
14. «Реализация комплексной методики паспортизации жилищного фонда на примере г. Шелехова в рамках целевой программы по сейсмобезопасности Иркутской области / Ю.А. Бержинский [и др.] // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2013. – № 2. – С. 54–61.
15. Вознесенский Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках : учеб. пособие / Е.А. Вознесенский. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 288 с.
16. Вознесенский Е.А. Динамические испытания грунтов, состояние вопроса и стандартизация / Е.А. Вознесенский // Инженерные изыскания. – 2013. – № 5. – С. 20–27.

17. Анализ последствий сильных землетрясений на Южном и Северном Байкале в 1999 году / С.И. Голенецкий [и др.] // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2001. – № 4. – С. 54–56.

18. Опыт изучения поля вибрации на территории города с целью оценки состояния геологической среды / В.И. Гурвич [и др.] // Инженерная геология. – 1991. – № 1. – С. 74–81.

19. Ескин А.Ю. Комплексный подход к оценке сейсмической опасности городских территорий в Южном Приангарье / А.Ю. Ескин // Геодинамика и тектонофизика. – 2018. – Т. 9, № 2. – С. 515–530.

20. Заалишвили В.Б. Сейсмический риск существующей застройки на территории г. Владикавказа / В.Б. Заалишвили, И.Л. Габеева, Х.Н. Мажиев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2008. – № 4. – С. 40–43.

21. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика : учебник / Г.С. Золотарев. – М. : МГУ, 1983. – 328 с.

22. Иванова Н.В. Актуальные вопросы градостроительной оценки сейсмических рисков жилых комплексов на примере г. Иркутска / Н.В. Иванова // Вестник современных исследований. – 2018. – № 12 (27). – С. 177–181.

23. Котляревский В.А. Определение повреждений строительных объектов / В.А. Котляревский // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2014. – № 1. – С. 43–48.

24. Клячко М.А. Землетрясение и мы : монография / М.А. Клячко. – СПб. : РИФ «Интеграф». – 1999. – 236 с.

25. Ларионов В.И. Особенности оценки уязвимости для сейсмических воздействий / В.И. Ларионов, Н.И. Фролова // Природные опасности России ; ред. А.Л. Рагозина. – Т. 6 : Оценка и управление природными рисками. – М. : КРУК, 2003. – С. 120–130.

26. Ларионов В.И. Законы разрушения зданий // Анализ сейсмического риска, спасение и жизнеобеспечение населения при катастрофических землетрясениях: [в 2 частях]; ред. С.К. Шойгу. – М. : ГК РФ по ГОЧС, Институт Литосферы РАН. – 1992. – Ч. 1. – С. 157–176.

27. Медведев С.В. К вопросу об экономической целесообразности усиления зданий / С.В. Медведев // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1962. – Вып. 7. (№ 22). – С. 59–85.

28. Методика комплексной оценки индивидуального риска ЧС природного и техногенного характера. – М. : ВНИИ ГОЧС-ЦИЭКС-СЦ ИГЭ РАН. – 2000. – 35 с.

29. Методическое пособие по паспортизации зданий и сооружений в сейсмоопасных районах. – Петропавловск-Камчатский : ДальНИИС Госстроя России. – 1990. – 63 с.

30. Методика прогнозирования последствий землетрясений. – М. : ВНИИ ГОЧС-ЦИЭКС-СЦ ИГЭ РАН. – 2000. – 27 с.

31. Мхитарян К.А. Об оценке уязвимости застроенных территорий в зонах сильных землетрясений / К.А. Мхитарян // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2014. – № 2. – С. 31–33.

32. Научно-технический отчет «О выполнении работ по составлению карты по сейсмическому микрорайонированию г. Иркутска». – Иркутск : ЗАО «ВостСибТИСИЗ». – 2012 г. – 212 с.

33. Осипов В.И. Природные опасности и стратегические риски в мире и в России / В.И. Осипов // Экология и жизнь. – 2009. – № 11–12 (96–97). – С. 6–16.

34. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска. Пособие для должностных лиц ; под ред. Г.А. Соболева. – М. : Центр БСТС. – 1997. – 54 с.
35. Перькова М.В. Территории повышенного риска в составе схемы планировочных ограничений при проектировании генерального плана города / М.В. Перькова, Ю.В. Круглов // Вестник. – СПб., Самара. – 2004. – С. 11–13.
36. Пуляевская Е.В. Градостроительная оценка сейсмической уязвимости территорий на примере жилого района г. Иркутска / Е.В. Пуляевская, Л.П. Бержинская, Н.В. Иванова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – № 9 (3). – С 632–643.
37. Рихтер Ч. Элементарная сейсмология / Ч. Рихтер. – М. : ИЛ. – 1963. – 670 с.
38. Страхов В.Н. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных стран / В.Н. Страхов, В.И. Уломов, Л.С. Шумилина. – М. : Физика Земли. – 1998. – № 10. – С. 92–96.
39. Уломов В.И. Комплекс карт общего сейсмического районирования территории РФ ОСР-97 / В.И. Уломов, Л.С. Шумилина. – М. : ОИФЗ им. Шмидта РАН. – 1999. – 57 с.
40. Уломов В.И. К вопросу о дифференцированной оценке сейсмической опасности на территории Российской Федерации / В.И. Уломов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2012. – № 4. – С. 41–49.
41. Шахрамьян М.А. Оценка сейсмического риска и прогноз последствий землетрясений в задачах спасения населения : учеб. пособие (теория и практика) / М.А. Шахрамьян. – М. : ВНИИ ГОЧС. – 2000. – 192 с.
42. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании. Сейсмическое районирование СССР / Н.В. Шебалин. – М. : Наука. – 1968. – С. 95–121.
43. Шойгу С.К. Анализ сейсмического риска. Спасение и жизнеобеспечение населения при катастрофических землетрясениях (сейсмические, методологические и методические аспекты): [в 2 частях] / С.К. Шойгу, Г.Л. Кофф, М.А. Шахрамьян. – М. : ГК РФ по ГОЧС; Институт Литосферы РАН. – 1992. – 220 с.
44. Уиггинс Дж. Принцип сбалансированного риска: новый подход к нормам проектирования зданий в сейсмических районах / Дж. Уиггинс ; пер. с англ. // Гражданское строительство. – 1972. – № 8. – С. 21–29.
45. Ципенюк И.Ф. Повреждаемость и надежность крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях / И.Ф. Ципенюк // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1988. – Вып. 29. – С. 141–153.
46. Algermissen S. T. Seismic risk studies in the United States: World Conf. on Earthquake Eng., 4th, Santiago, Chile, Proc. – 1969. – V. 1. – 14 p.
47. Cornell C.A. Engineering seismic risk analysis//BSSA. – 1968. – V. 58. – P. 1593–1606.
48. European Macroseismic Scale 1998. EMS-98. // Edit. G. Grunthal. Luxembourg. – 1998. – 99 pp.
49. Grandori G. Cost-benefit analysis in earthquake engineering // Proc. VII Europ. conf. on earthquake eng. Athens. – 1982. – Vol. 7. – P. 71–136.

Нормативная документация, в том числе интернет-ресурсы

50. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация: издание официальное. – Введ. 01.01.2013. – М. : Стандартинформ, 2013. – 44 с.

51. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения: издание официальное. – Введ. 01.01.2014. – М. : Стандартинформ, 2015. – 44 с.
52. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: издание официальное. – Введ. 07.01.2015. – М. : Стандартинформ, 2014. – 59 с.
53. ГОСТ 34081-2017 Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний: издание официальное. – Введ. 01.11.2017. – М. : Стандартинформ, 2017. – 20 с.
54. ГОСТ Р 51897-2011 Менеджмент риска. Термины и определения: издание официальное. – Введ. 16.11.2011. – М. : Стандартинформ, 2012. – 16 с.
55. ГОСТ Р 51901.23-2012 Реестр рисков. Руководство по оценке риска опасных событий для реестра риска: издание официальное. – Введ. 12.01.2013. – М. : Стандартинформ, 2014. – 28 с.
56. ГОСТ Р 56353-2015 Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов: издание официальное. – Введ. 03.03.2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 39 с.
57. ГОСТ Р 57546-2017 Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 19.07.2017. – М. : Стандартинформ, 2017. – 32 с.
58. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. – Введ. 25.11.2018. – М.: Минстрой России, 2018. – 126 с.
59. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. – Введ. 11.06.2017. – М. : Минстрой России, 2016. – 228 с.
60. СП 2.13130.2012 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты (с изменением № 1). – Введ. 12.01.2012. – М. : МЧС России, 2012. – 27 с.
61. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции (изм. № 1, № 2): издание официальное. – Введ. 01.01.2013. – М. : Минрегион России, 2012. – 105 с.
62. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: издание официальное. – Введ. 07.01.2017. – М. : Стандартинформ, 2019. – 90 с.
63. СП 118.13330.2012* Общественные здания и сооружения: издание официальное. – Введ. 09.01.2014. – М. : Минстрой России, 2019. – 77 с.
64. СП 160.1325800.2014 Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования: издание официальное. – Введ. 01.09.2014. – М. : Минстрой России, 2019. – 25 с.
65. СП 442.1325800.2019 Здания и сооружения. Оценка класса сейсмостойкости: издание официальное. – Введ. 29.07.2019 – М. : Минстрой России, 2019. – 20 с.
66. https://bstudy.net/687861/bzhd/metody_proverochnogo_lista_kontrolnyh_esli // (дата обращения: 18.09.2020).
67. https://emirs.miet.ru/oroksmiet/upload/ftp/pub/552173a/3metod_AVPKO.pdf // (дата обращения: 18.09.2020).
68. <https://files.stroyinf.ru/Data/33/3332.pdf> // (дата обращения: 18.09.2020).
69. https://untj.org/files/Publications/DRMP/resource_page/MethodologyRUSS.pdf // (дата обращения: 18.09.2020).

70. <http://www.zetatalk.com/russia/tinfo05d.htm> // (дата обращения: 18.09.2020).
71. https://studref.com/527550/tehnika/_tehnogenного_vozdeystviya_zaleganiya // (дата обращения: 18.09.2020).
72. <https://zavantag.com/docs/index-16528031.html> // (дата обращения: 18.09.2020).
73. https://yandex.ru/images/search?text=%D1%81%6b9a79_800.png // (дата обращения: 18.09.2020).
74. https://studwood.ru/1657584/osobennosti_gradostroitelstva_seysmooopasnyh_ // (дата обращения: 18.09.2020).
75. <https://yandex.ru/search/?text=%D0%9E%D1%81%BD%D0%BE%D0%B2> // (дата обращения: 18.09.2020).
76. <https://yandex.ru/images/search?p=1&source=wiz&text=%2Fimage020.jpg> // (дата обращения: 18.09.2020).
77. https://yandex.ru/images/search?pos=10&img_url=wiz&stype=image // (дата обращения: 18.09.2020).
78. https://yandex.ru/images/search?pos=21&img_url=https%3A%2F%2Fstrhouse.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2Fimages%2Fimage%2F63 // (дата обращения: 18.09.2020).
79. <https://yandex.ru/images/search=2Fnature.baikal.ru=63&source=im> // (дата обращения: 18.09.2020).

Термины и определения

Анализ риска – процесс идентификации опасностей и оценки значимости факторов риска, а также оценка вероятности возникновения неблагоприятного события и определение его последствий.

Балл – условная единица измерения сейсмической интенсивности землетрясения на поверхности Земли по макросейсмическим и инструментальным данным.

Безопасность урбанизированной территории – комплексное состояние градостроительной системы рассматриваемой урбанизированной территории, безопасность которой обеспечивается как планировочной составляющей, так и уязвимостью строительных объектов на этой территории.

Дефицит сейсмостойкости – это разница между расчетной сейсмичностью территории и фактическим уровнем сейсмостойкости здания в баллах.

Законы разрушения (поражения) – зависимости между вероятностью разрушения (поражения) элементов риска и интенсивностью проявления поражающего фактора.

Землетрясение – подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии Земли и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний.

Зоны возможных очагов землетрясений (зоны ВОЗ) характеризуют степень сейсмической угрозы в зависимости от территориального расположения разломов и близости их к объектам риска на заданной территории.

Интенсивность землетрясения – степень сотрясения грунта на земной поверхности в баллах сейсмической шкалы, определяемая по макросейсмическим данным (повреждениям и разрушениям строительных объектов, изменению ландшафта, наблюдениям и ощущениям людей, поведению животных).

Конструктивная уязвимость – это свойство строительного объекта снижать свои качественные и количественные показатели надежности и безопасности вследствие землетрясения с учетом особенностей, присущих конструктивной системе. Уязвимость строительных объектов измеряется от 0 (отсутствие повреждений) до 1,0 (полное разрушение здания). На основании оценок сейсмической опасности и уязвимости застройки можно оценить ожидаемый ущерб, как в относительном, так и денежном выражении.

Класс сейсмостойкости – характеристика здания или сооружения, определяющая уровень сейсмостойкости, зависящая от расчетного сейсмического воздействия, на которое проектировалось здание или сооружение, и от категории его технического состояния на момент назначения класса сейсмостойкости.

Оценка риска – расчеты, используемые для идентификации и прогнозирования опасностей, оценки уязвимости территорий и объектов, установления возможных последствий, определения вероятности и размеров возможных потерь (ущерба и социальных потерь).

Приемлемый риск – уровень риска, который допустим и обоснован по социально-экономическим соображениям конкретного общества (государства). В настоящее время только Нидерланды законодательно утвердили величину приемлемого риска, равную $1 \cdot 10^{-6}$ (1/год), т. е. в течение года допустима вероятность гибели только одного человека из миллиона. В России уровнем приемлемого риска считается $1 \cdot 10^{-5}$ (1/год), т. е. один погибший при землетрясении на 100 000 жителей в течение года.

Сейсмическая опасность – вероятность возникновения на определенной территории в течение заданного интервала времени сейсмических воздействий заданной интенсивности.

Сейсмическое районирование – выделение областей, районов или отдельных участков местности на поверхности Земли по степени потенциальной сейсмической опасности, осуществляемое на основе комплексного анализа геологических и геофизических данных.

Сейсмическая уязвимость – это отношение ожидаемых затрат на восстановление объектов, которые могут быть подвержены действию землетрясения заданной интенсивности, к их первоначальной стоимости.

Сейсмостойкость – способность зданий и сооружений, характеризующаяся классом сейсмостойкости, противостоять воздействию землетрясения с размерами последствий (социального и экономического ущерба), не превышающими допустимых размеров, заранее установленных нормами.

Степень повреждения зданий (сооружений) – градация последствий сейсмических воздействий, характеризующая утрату первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности) зданиями в результате действия природно-техногенных факторов. В шкале используют 6 степеней повреждений, включая «нулевую» – полное отсутствие повреждений.

Урбанизированные территории – территории всех видов поселений, агломерации, пригородные зоны городов, селитебные территории и т. д. Пространственная организация развития урбанизированных территорий должна предусматривать сбалансированность территорий жилого (селитебного), производственного, агропромышленного, рекреационного, эколого-охранного назначения в увязке с социальной, транспортной и др. инфраструктурой и с постоянно регулируемым пространственным развитием и планировочной организацией.

Уязвимость населения – возможная доля пострадавших от общего числа жителей, находившихся в зоне действия сильных сотрясений. В ряде западных стран величина материальных потерь, связанная с гибелью и травмами людей, приравнивается к страховым выплатам.

Уязвимость объекта риска – способность этого объекта получать собственный ущерб или наносить ущерб другому объекту под воздействием этого ущербобразующего фактора.

Управление риском – часть системного подхода к принятию решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба материальным ценностям и окружающей природной среде.

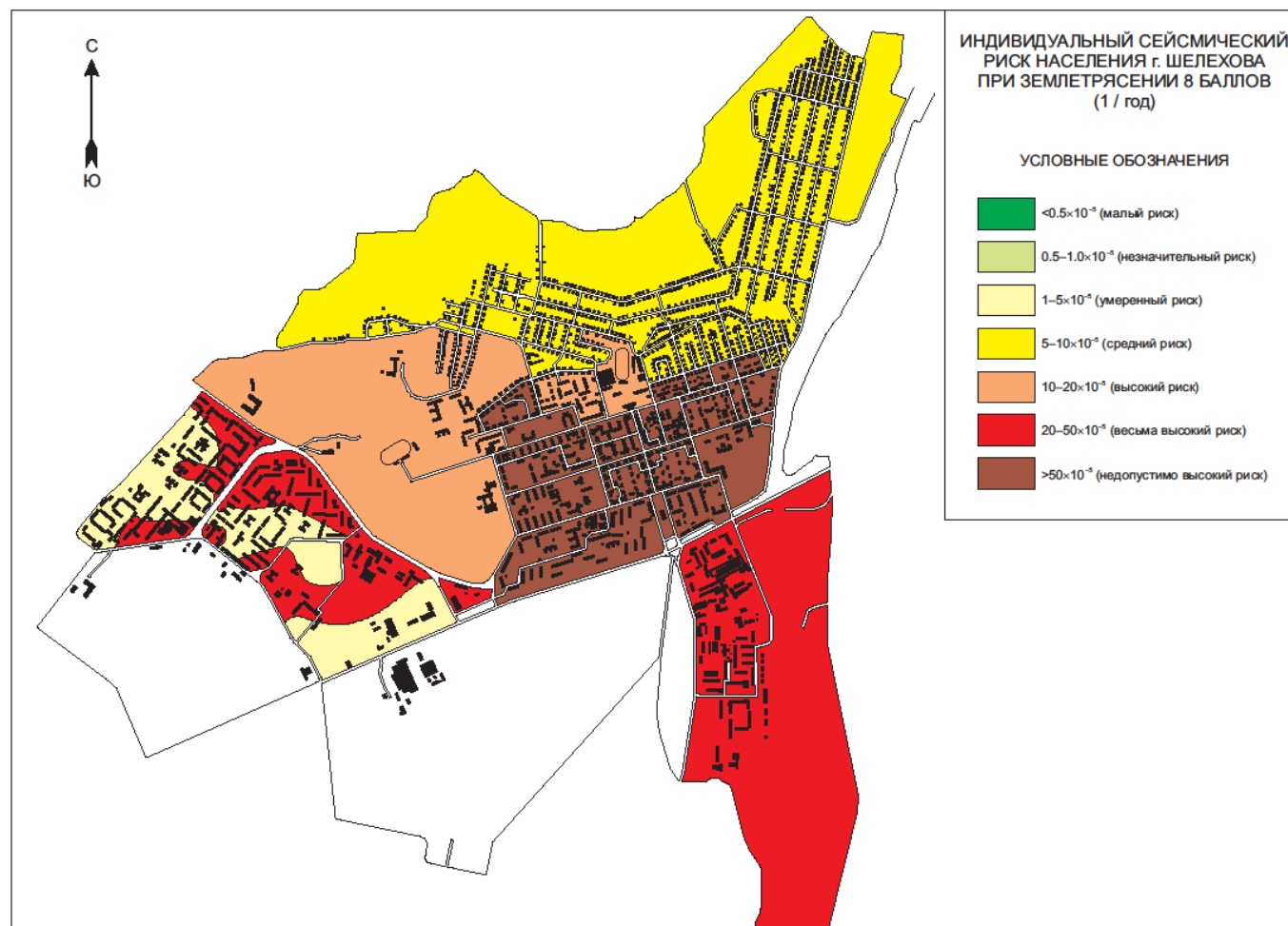
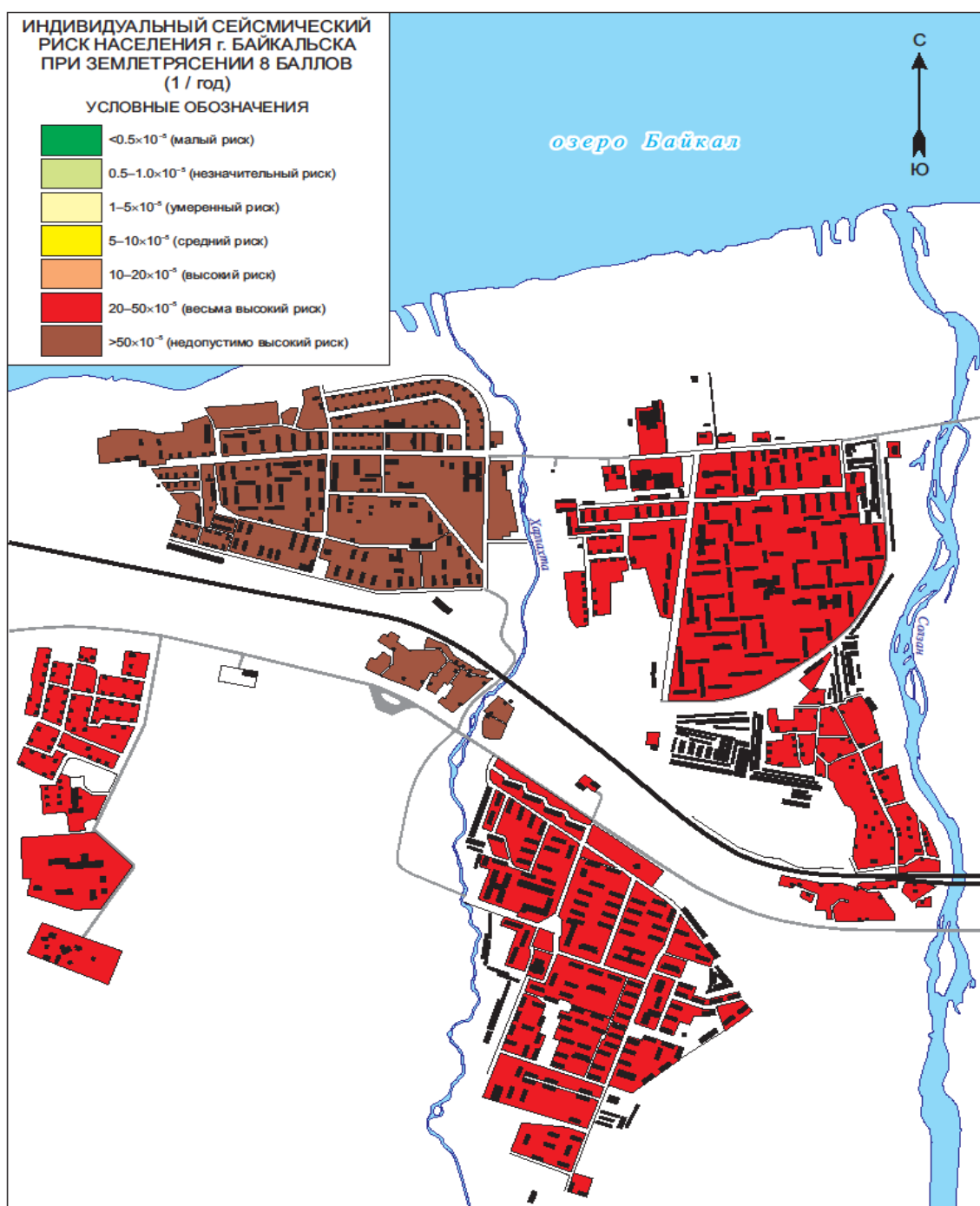


Рис. Б. 1. Пример прогностической карты индивидуального сейсмического риска г. Шелехов Иркутской области при интенсивности землетрясения 8 баллов. Составлена в ИЗК СО РАН, 2012 г.



**Рис. Б. 2. Пример прогностической карты индивидуального сейсмического риска
г. Байкальск Иркутской области при интенсивности землетрясения 8 баллов.
Составлена в ИЗК СО РАН, 2012 г.**